

Requerimento à
Atribuição do Título de Especialista

Despacho n.º 8590/2010

Controlo Estatístico Aplicado a Processos de
Enchimento.

Por:
Cristina Alexandra Amaral Castanheira Barros Orfão

Julho de 2011

DEDICATÓRIA

À minha família.

AGRADECIMENTOS

A todos as outras pessoas e instituições que de algum modo contribuíram para a realização deste trabalho apresento também os meus agradecimentos; em especial, sublinho o meu reconhecimento:

- À Engenheira Elsa Carvalho da Sumol +SUMOL+COMPAL SA pela total disponibilidade no acesso a informação.

- Ao Engenheiro José Guilherme da Sumol +SUMOL+COMPAL SA pelo apoio demonstrado e sugestões que muito contribuíram para a realização deste trabalho e pela amizade e boa disposição que tão bem o caracterizam.

- Ao meu sócio Gonçalo Martins pela equipa que formamos como mentores do sistema ACCEPT e pela sua valiosa ajuda.

- Ao meu amigo Paulo Santos pelo seu constante apoio em todas as fases cruciais da criação das empresas e do desenvolvimento do sistema ACCEPT.

- A toda a minha família, em especial o meu marido Rodolfo, incansável no seu apoio, por me terem proporcionado o ambiente indispensável à concretização deste trabalho.

- Às minhas filhas Sofia e Inês pelo seu amor incondicional.

In memoriam à minha querida amiga e sócia Maria José Faustino, exemplo de honra aos compromissos interpostos pela vida.

SUMÁRIO

Este trabalho tem como objetivo apresentar um modelo para o controlo estatístico da quantidade de produto pré-embalado e um programa informático dirigido à indústria embaladora. Com base numa abordagem inovadora da aplicabilidade das técnicas estatísticas ao controlo dos processos de enchimento é apresentada uma metodologia para análise das necessidades da indústria e o seu enquadramento no cumprimento dos requisitos legais de defesa do consumidor. Nesta metodologia são contemplados, entre outros aspetos, os principais fatores de variação desses processos e a sua monitorização em tempo real. É formulado um sistema informático de aquisição, registo e tratamento de dados de apoio à decisão para o planeamento conjunto das operações de controlo da quantidade. A validação deste sistema é assegurada com o estudo de casos práticos, considerados representativos da maioria dos processos de enchimento e nos quais se demonstram as vantagens da utilização do programa informático preconizado, designado de ACCEPT- Ajuda Computadorizada ao Controlo Estatístico de Processos.

Palavras-chave: Controlo Metrológico de Produtos Pré-embalados, Controlo Estatístico de Processos, Engenharia de *Software*, Monitorização em tempo real, Simplicidade, Melhoria Contínua.

ABSTRACT

With the aim of establishing a global strategy to control the quantity of product in prepackages, an integrated planning model based on statistical tools is developed. This model is able to manage the production functions concerning the legal metrological requirements. Based on a new definition of process control, a methodology to analyze is proposed; routine inspections, condition monitoring of the main components in real time and friendly comprehension of the outputs are taken into account. Subsequently, *software* of data acquisition, registration and treatment for decisions which can be configured for any kind of filling process is introduced. The impacts of this *software*, named ACCEPT-Computer Based Help for the Statistic Control of the Filling Processes, at the industry is demonstrated by analyzing some case studies.

Key Words: Metrological Control of Prepackaged products, Statistical Process Control, *Software* Engineering, Condition Monitoring in Real Time, Simplicity and Improvement.

SIMBOLOGIA E NOTAÇÕES

A_2	Constante usada na construção de uma carta de controlo
A_3	Constante usada na construção de uma carta de controlo
ACCEPT	Ajuda Computadorizada ao Controlo Estatístico de Processos
ARL	<i>Average Run Length</i> (Número médio de amostras que é necessário recolher para detetar uma situação fora de controlo)
ASQ	American Society for Quality (Sociedade América para a Qualidade)
ATS	<i>Average Time to Signal</i> (Tempo médio necessário para detetar uma situação fora de controlo)
B_3	Constante usada na construção de uma carta de controlo
B_4	Constante usada na construção de uma carta de controlo
$^{\circ}\text{Brix}$	Medida da concentração de sólidos solúveis num líquido, geralmente traduz a concentração de açúcares num líquido.
C	Custo total do processo de enchimento e da embalagem
c_1	Custo de aproveitamento da quantidade em excesso
c_2	Custo de vazamento do produto e seu reaproveitamento
c_4	Constante usada na construção de uma carta de controlo
C_c	Custos da embalagem
CEE	Comunidade Económica Europeia
C_f	Custos do processo de enchimento
C_m	Estimativa da capacidade de uma máquina em produzir segundo as especificações.
C_p	Estimativa da capacidade de um processo.
C_{Pk}	Estimativa da capacidade de um processo e da sua centralidade.
C_{Pks}	Estimativa da capacidade de um processo e da sua centralidade face ao limite superior de especificação.
C_{Pki}	Estimativa da capacidade de um processo e da sua centralidade face ao limite inferior de especificação.
CSPEC	Control Specification (Especificação de Controlo)
CUF	Companhia União Fabril
d_2	Constante usada na construção de uma carta de controlo
D_3	Constante usada na construção de uma carta de controlo
d_3	Constante usada na construção de uma carta de controlo
D_4	Constante usada na construção de uma carta de controlo
DFD	Data Flow Diagram (Diagrama de Fluxo de Dados)

EAD	Erro Admissível por Defeito
e_{ij}	Resíduo
ERD	Entity Relation Diagram (Diagrama de entidade-relacionamento)
g	Custo do produto por unidade de volume
h	Frequência de amostragem
H_0	Hipótese nula
H_1	Hipótese alternativa
hL	Conteúdo efetivo de um produto
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial do Brasil
IPQ	Instituto Português da Qualidade
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização)
k	Número de Amostras
K	Nível de Controlo.
L ou Q_N	Quantidade nominal indicada no rótulo de um produto
$L+k$	Capacidade de uma embalagem
LC	Limite Central
LIC	Limite Inferior de Controlo
LIE	Limite Inferior de Especificação
LSC	Limite Superior de Controlo
LSE	Limite Superior de Especificação
M	Estatística do Teste de Bartlett
m	Número de produtos ou “pequenas produções” em análise
MERCOSUL	Mercado Comum do Sul
$M_{pic.}$	Massa do picnómetro
$M_{pic.+p}$	Massa do picnómetro mais o produto
\overline{MR}	Média de amplitudes móveis das amostras
MR_i	Amplitude móvel de uma amostra
M_{tara}	Massa da tara de uma embalagem
n	Número de observações por amostra
NQA	Nível de Qualidade Admissível
NQR	Nível de Qualidade Rejeitável
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

OIML	Organização Internacional de Metrologia Legal
OVM	Organismos de Verificação Metrológica
oz	Unidade de Massa equivalente a 28,352 g
P	Probabilidade
p_i	Percentil de uma observação i
P_P	Estimativa da capacidade de um processo com base numa amostra de dimensão finita.
ppb	Partes por bilião
P_{Pk}	Estimativa da capacidade de um processo e da sua centralidade com base numa amostra de dimensão finita.
P_{Pki}	Estimativa da capacidade de um processo e da sua centralidade face ao limite inferior de especificação com base numa amostra de dimensão finita.
P_{PkS}	Estimativa da capacidade de um processo e da sua centralidade face ao limite superior de especificação com base numa amostra de dimensão finita.
ppm	Partes por milhão
PSPEC	Process Specification (Especificação de Processos)
QFD	Quality Function Development (Desdobramento da Função de Qualidade)
\bar{R}	Média das amplitudes das amostras
R_i	Amplitude da amostra i
\bar{R}_j	Amplitude média para o produto j
S	Preço de venda
\bar{s}	Média dos desvios-padrão das amostras
s_i	Desvio-padrão amostral
SLIM	Simpler Legislation for the Internal Market (Simplificação da Legislação para o Mercado Interno)
SPC	Statistical Process Control (Controlo Estatístico de Processos)
SQC	Statistical Quality Control (Controlo Estatístico da Qualidade)
STD	State Transition Diagram (Diagrama de transição de estados)
T	Valor nominal
$V_{pic.}$	Volume do Picnómetro
WELMEC	European Cooperation in Legal Metrology (Cooperação Europeia de Metrologia Legal)
$\bar{\bar{x}}$	Média das médias das amostras ou estimativa da média de um processo
x_i	Valor da característica x na i -ésima observação

\bar{x}_i	Média da amostra i
$(\bar{x}_{di})_j$	Média da amostra i para o produto j
\bar{y}_i	Estimativa do valor previsto para o valor de saída de uma grandeza
y_{ij}	Valor previsto para o valor de saída de uma grandeza
$Z_{\alpha/2}$	Distribuição normal padrão de média 0 (zero) e variância 1
α	Nível de significância ou risco do produtor
β	Erro do Tipo II ou erro do consumidor
δ	Desvio da média do processo face ao valor desejado
μ	Média de um processo
ρ	Massa Volúmica de um líquido
ρ_{digital}	Massa Volúmica de um líquido obtida a partir de densímetro digital
ρ_{pic}	Massa Volúmica de um líquido obtida através do método do picnómetro
σ	Desvio-padrão de um processo
$\hat{\sigma}$	Estimativa do Desvio-padrão de um processo
σ_{esp}	Desvio-padrão das especificações do processo
σ_R	Desvio-padrão da distribuição amostral de amplitudes
σ_s	Desvio-padrão da distribuição amostral de desvios-padrão
$\sigma_{\bar{x}}$	Desvio-padrão da distribuição de médias de amostras
$\phi(Z)$	Função de densidade de probabilidade da distribuição normal padrão
$\chi^2_{\alpha;n-1}$	Distribuição cumulativa do qui-quadrado para um nível de significância (α) e (n-1) graus de liberdade.

ÍNDICE DE MATÉRIAS

Dedicatória	1
Agradecimentos	2
Sumário	3
Abstract	4
Simbologia e notações	5
Índice de Matérias	9
Índice de Figuras.....	11
Índice de Quadros.....	13
Capítulo 1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Enquadramento	14
1.2 Objetivos	17
1.3 Metodologia.....	18
1.4 Estrutura.....	20
Capítulo 2 Enchimento de Produtos Pré-embalados	21
2.1 Enquadramento Legal	21
2.2 A problemática do controlo estatístico das quantidades de produtos pré-embalados na indústria.....	25
2.2.1 Caracterização dos processos de enchimento de produtos pré-embalados.	25
2.2.2 Otimização dos processos de enchimento de produtos pré-embalados.	29
Capítulo 3 Controlo estatístico da “Quantidade pré-embalada”	35
3.1 Conceitos fundamentais do controlo estatístico da qualidade.....	36
3.2 Controlo Estatístico do Processo (SPC).	38
3.2.1 Resenha Histórica	38
3.2.2 O desfasamento entre a Teoria e a Prática na aplicação do SPC	41
3.2.3 Cartas de Controlo da Qualidade	43
3.2.4 Tipos de Cartas de Controlo	49
3.2.5 Análise da Capacidade do Processo	59
3.2.6 Nível de qualidade admissível e rejeitável	62
3.2.7 Verificação dos pressupostos de normalidade e independência	64
3.2.8 Teste de Bartlett	67
Capítulo 4 Modelo de informação para o controlo estatístico das Quantidades de produtos Pré-embalados	68
4.1 A Engenharia de <i>Software</i>	68
4.2 Conceitos e princípios da análise de requisitos	73

4.3 Da ideia à concretização do sistema ACCEPT	75
4.4 Requisitos do sistema ACCEPT	77
4.5 Método de validação dos cálculos realizados pelo ACCEPT	93
Capítulo 5 Análise de Casos Práticos	94
5.1 Apresentação da empresa.....	94
5.2 Controlo da <i>quantidade pré-embalada</i> na SUMOL+COMPAL SA.....	97
5.3 Caso prático nº. 1: “Enchimento em vidro”	100
5.3.1 Análise das Fontes de Variação	100
5.3.2 Variabilidade da Capacidade das Garrafas de Vidro	100
5.3.3 Variabilidade da Massa Volúmica dos Produtos Pré-embalados	102
5.3.4 Definição do Controlo Estatístico do Processo a aplicar neste caso prático	105
5.4 Caso prático nº. 2: “Linha de Derivados de Tomate”	111
5.5 Caso Prático nº. 3: “Enchimento Tetra-Pak”	115
5.6 Caso Prático nº. 4: “Enchimento em Latas e Bisnagas”	119
5.7 Caso Prático nº. 5: “Enchimento de Vegetais em Lata”	121
5.8 Impacto do sistema ACCEPT nos processos de enchimento da SUMOL+COMPAL SA	125
Capítulo 6 Conclusão	126
Bibliografia	131
Anexo a- Lista de Empresas visitadas	137
Anexo b- empresas que usam o ACCEPT (2011).....	138
Anexo c- Constantes usados na construção dos gráficos da média, do desvio- padrão e da amplitude	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Processo de Enchimento genérico de um produto pré-embalado.....	26
Figura 2.2- Relação entre as variáveis hL , L , $L+k$ e T	32
Figura 3.1-Divisão das cartas de controlo em três zonas.	47
Figura 3.2- Regras usadas na interpretação das cartas de controlo.....	49
Figura 3.3- Distribuição normal de um processo.	63
Figura 3.4- Distribuição normal de média μ_0 e μ_1	64
Figura 3.5- Exemplo de um histograma.....	65
Figura 3.6- Exemplo de um gráfico de probabilidades da distribuição normal.	65
Figura 4.1- Fases do ciclo de solução de problema.....	72
Figura 4.2- Fases dentro de fases do ciclo de solução de problemas.	72
Figura 4.3- O paradigma da prototipagem.....	72
Figura 4.4- Exemplo de funcionamento do sistema ACCEPT na indústria embaladora.....	78
Figura 4.5- <i>Objetos de dados</i> e respetivas conexões do sistema ACCEPT©.....	80
Figura 4.6- Objetos associados à configuração do sistema.....	81
Figura 4.7- DFD de nível 0 para o ACCEPT 1.3.	83
Figura 4.8-Diagrama ERD dos objetos: ACCEPT-segurança e ACCEPT1.3.....	84
Figura 4.9- Diagrama ERD dos objetos: Produtos e Fornecedores e Processos.....	84
Figura 4.10- Diagrama ERD dos objetos: Balanças e Linhas e Processos.....	85
Figura 4.11- Diagrama ERD dos objetos: Dados da Empresa e Sistema e Processos.....	85
Figura 4.12- Ecrã de configuração de uma amostra para posterior recolha de dados.	86
Figura 4.13- Diagrama ERD dos objetos: “Processo e Amostra”	86
Figura 4.14- Diagrama ERD dos objetos: “Cometários e Amostra”.....	87
Figura 4.15- Diagrama ERD dos objetos: “Turno/operador/lote de Produção e Amostra”	87
Figura 4.16- Diagrama ERD dos objetos: “Produto/fornecedor/embalagem e Amostra”	87
Figura 4.17- Diagrama ERD dos objetos: “Fornecedor e Embalagem”	88
Figura 4.18- <i>Modus Operandi</i> e ecrãs da aquisição de dados.....	88

Figura 4.19- Carta de controlo nº. 18 do processo KHS 1L.	89
Figura 4.20- (a) Verificação legal da média; (b) parâmetros estatísticos.	90
Figura 4.21- Análise do Processo KHS 1L.	91
Figura 4.22- Ecrã da pesquisa orientada por objetos.	92
Figura 4.23- Ecrã da exportação de dados para o Microsoft Excel©.	92
Figura 5.1- Fábrica de Almeirim da COMPAL SA (2003).....	94
Figura 5.2- Produtos Pré-embalados pela COMPAL SA (2003).	96
Figura 5.3- Propriedades do Processo KHS 1000 mL.	106
Figura 5.4- Exemplificação do teste de Bartlett.	107
Figura 5.5- Verificação legal da média.	109
Figura 5.6- Análise da capacidade do Processo KHS 1L.	110
Figura 5.7- Grelha de entrada de dados do processo: “Derivados de Tomate 1000g”.....	112
Figura 5.8- Carta nº. 4 e histograma do processo - “Derivados de Tomate 160 mL”.	113
Figura 5.9- Teste de Bartlett a todas as amostras da Carta nº. 4.....	114
Figura 5.10- Registo do número do bico.....	115
Figura 5.11- Linha de Enchimento de Vegetais.	121

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1- Caracterização das entradas de um processo de enchimento.....	26
Quadro 3.1- Tipos de cartas de controlo de variáveis propostas por Shewhart.	51
Quadro 3.2-Valores do Fator H da Carta \bar{R}	53
Quadro 3.3- Tipos de cartas de controlo por variáveis.	55
Quadro 3.4- Tipos de cartas de controlo normalizadas por variáveis.	57
Quadro 3.5- Variância de um processo.	61
Quadro 5.1- Caracterização dos casos práticos em estudo.....	97
Quadro 5.2 – Análise da variabilidade das garrafas de vidro.....	101
Quadro 5.3 – Comparação dos valores de Massa Volúmica.	103
Quadro 5.4 – Comparação das massas volúmicas antes e após o enchimento.	104
Quadro 5.5- Parametrização dos processos analisados no Caso Prático nº. 1.	105
Quadro 5.6- Análise da Capacidade dos Processos do caso prático nº. 1.....	111
Quadro 5.7- Parametrização dos processos da linha de derivados de tomate.	112
Quadro 5.8- Análise da Capacidade dos Processos.....	114
Quadro 5.9 – Análise da variabilidade da massa das embalagens tetra-pak.....	117
Quadro 5.10- Parametrização dos processos relativos às linhas Tetra-Pak.	118
Quadro 5.11- Análise da Capacidade dos Processos das linhas Tetra-Pak e Tetra-Prisma....	118
Quadro 5.12- Parametrização dos processos relativos às linhas 7 oz e bisnagas.....	120
Quadro 5.13- Análise da Capacidade dos Processos das linhas 7 oz e bisnagas.	120

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Do estreito contacto estabelecido desde 1999 com a indústria embaladora portuguesa em geral e, em particular, com a do setor agroalimentar, constatou-se a inexistência de sistemas informáticos de aquisição e controlo estatísticos de dados, concebidos em língua portuguesa, capazes de monitorar, em tempo real, a quantidade de produto pré-embalado. Esta necessidade surge como uma imposição legal desde 1991, como garante aos consumidores de que as quantidades pagas são as que efetivamente “leva para casa”.

A aplicação dos conceitos estatísticos previstos nos regulamentos do controlo metrológico de produtos pré-embalados, bem como a crescente necessidade de otimizar o funcionamento dos seus processos produtivos, têm nos dias de hoje uma importância fundamental tanto na garantia dos direitos do consumidor como na competitividade das indústrias embaladoras.

Rapidamente, os industriais se aperceberam de que a par do cumprimento dos requisitos legais do controlo metrológico das quantidades de produtos pré-embalados (designada ao longo do presente trabalho, apenas, por “*quantidades pré-embaladas*”) seria possível controlar a quantidade de produto em excesso.

No Anexo A apresenta-se uma listagem das empresas visitadas, desde 1999 até dezembro de 2003, com o objetivo de caracterizar os seus processos de enchimento a diversos níveis: recursos humanos, aspetos técnicos (doseadoras/enchedoras, dispositivos de monitorização e meios de transmissão de dados), documentais, operacionais e de *layout*.

No Anexo B apresenta-se uma listagem das empresas que em 2011 usavam o sistema ACCEPT.

De imediato, foi possível concluir que, apesar de existirem diversos sistemas de enchimento e produtos, o *modus operandi* usado no controlo da *quantidade pré-embalada* poderia, de

certa forma, ser normalizado com recurso à implementação de ferramentas de controlo estatístico, como, por exemplo, as cartas de controlo.

Dessas visitas, identificaram-se basicamente três níveis de desenvolvimento face ao controlo das *quantidades pré-embaladas*:

- **Nível 1:** 5 das 27 empresas visitadas conheciam a legislação relativa ao controlo metrológico de produtos pré-embalados; estavam conscientes de que a ausência de um sistema de controlo da quantidade implica elevados prejuízos económicos, mas apresentavam dificuldades na sua interpretação. A maioria não dispunha de recursos humanos capazes e não apresentava quaisquer registos. Neste nível, encontravam-se essencialmente as micro-empresas ou PME (Pequenas e Médias Empresas) de carácter essencialmente familiar, muito comuns no setor agroalimentar.
- **Nível 2:** 13 das 27 empresas visitadas apresentavam registos em papel, por exemplo, de pesagens efetuadas durante o enchimento, não efetuando qualquer tratamento estatístico aos mesmos.
- **Nível 3:** 9 das 27 empresas visitadas tinham sistemas automatizados e documentados de controlo estatístico dos enchimentos. Neste conjunto encontravam-se empresas integradas em multinacionais e certificadas, segundo a família de Normas ISO 9000.

Constatou-se que a maioria dos embaladores optou por implementar, erradamente, os planos de inspeção descritos na Portaria 1198/91 de 18 de dezembro, ao invés de definir um sistema de controlo estatístico. De notar que, segundo o ponto nº. 3 da Portaria 1198/91 de 18 de dezembro, a realização dos ensaios descritos neste diploma compete às entidades oficiais, sendo, no entanto, inúmeros os casos de empresas que julgava ser sua esta função. A título de exemplo, refira-se que, em muitos casos, eram retiradas 80 unidades por turno, calculada a média e o desvio-padrão do conjunto e verificada a conformidade com o critério da média e dos conteúdos estipulado no quadro nº. 5 da dita Portaria.

Ao invés de o embalador analisar a variância dos seus processos de enchimento ao longo do tempo, retirando, por exemplo, um número reduzido de unidades (4 ou 5 embalagens) de 30 em 30 minutos, era feita apenas uma única inspeção durante um turno, ou dia de produção, não garantindo, desta forma, que os seus processos cumprissem continuamente as especificações, quando estas existiam. Para além disso, muitas empresas usavam como limite inferior de especificação o erro admissível por defeito (definido no quadro nº. 1 da

Portaria 1198/91). Por exemplo, para uma quantidade nominal de 1000 mL o limite inferior de especificação era de 15 mL e o superior era inexistente.

Assim, devido à ausência de um sistema de controlo estatístico, muitos dos embaladores assumiram como custo de produção o enchimento por excesso, confrontando-se, por outro lado, com problemas fiscais, como acontece no caso das bebidas alcoólicas.

A maioria dos sistemas de controlo das quantidades usados por algumas empresas limitavam-se a guardar numa base de dados os valores das pesagens efetuadas nas balanças que se encontravam junto das linhas de enchimento. O operador, responsável pela regulação das enchedoras, tinha acesso, na balança, ao valor médio da última amostragem e ao valor médio acumulado da *quantidade pré-embalada* de um dado produto. Pelo facto de não visualizar a evolução desses valores ao longo do tempo, o operador agia sobre o processo, sempre que o valor acumulado ultrapassasse os limites de especificação definidos pela empresa. A filosofia de controlo incutida por estes sistemas limitava-se a gerar um plano de amostragem e a calcular a média, a amplitude e o desvio-padrão das observações efetuadas.

Noutros casos, como por exemplo o do café, bolachas, congelados, etc, encontram-se sistemas de pesagem em linha, constituídos por células de carga colocadas sob o tapete por onde passam as embalagens. Estes “controladores de peso” eram programados com a tara média da embalagem desse produto e emitiam um alerta sempre que uma unidade apresentava um peso inferior ao especificado. O problema destes sistemas relacionava-se com o facto de a tara da embalagem ser pré-definida, o que não seria adequado nos casos em que variância do seu peso fosse elevada, como acontece na maioria das embalagens de vidro. Para além disso, apesar de estas balanças permitirem a exportação de dados, este facto não acontecia, pelo que não existiam registos do controlo das quantidades, requisito legal previsto no ponto 2 do artigo 3º do Decreto-Lei 310/91 de 17 de agosto.

Detetado assim um nicho de mercado de valor acrescentado para a indústria portuguesa, surge em 2001 a ideia de conceber um sistema informático de controlo estatístico, o qual de designou de ACCEPT- Ajuda Computadorizada ao Controlo Estatístico de Processos, inicialmente dirigido para a monitorização e controlo da *quantidade pré-embalada*, tendo por base o seu enquadramento legal, quer comunitário, quer internacional e, principalmente, o seu *modus operandi* em fábrica.

De realçar que na maioria dos casos, após a parametrização do sistema para uma dada empresa, este é por vezes alvo de alterações a nível de programação informática, com a inclusão de novas funcionalidades operativas.

Trata-se assim de um sistema em constante aperfeiçoamento, conciliando-se neste ciclo de melhoria contínua os demais avanços tecnológicos em áreas como os sistemas de aquisição e transmissão de dados, as ferramentas de controlo estatístico, a otimização da *interface* com o utilizador e o incremento da sua robustez na interação com os sistemas de *hardware* disponíveis.

Este trabalho visa constituir um documento de especificação do desenvolvimento dessa aplicação, hoje utilizada por algumas empresas portuguesas como ferramenta de controlo estatístico da *quantidade pré-embalada*.

Neste sentido, pretende-se com este trabalho descrever as especificações deste sistema através da análise de casos práticos e não explicar a sua programação informática, área da competência de um engenheiro informático.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem por principal objetivo descrever a aplicação do controlo estatístico a processo de enchimento em tempo real através da aplicação informática, designada de ACCEPT (Ajuda Computadorizada ao Controlo Estatístico de Processo), hoje usada na indústria Portuguesa. Para responder a este objetivo principal, traçaram-se os seguintes objetivos secundários:

1. Descrever o controlo metrológico de produtos pré-embalados tanto pelo seu enquadramento legal como pela vertente industrial da entidade embaladora e/ou importadora.
2. Enquadrar o controlo metrológico de pré-embalados em Portugal e no seio da União Europeia.
3. Reunir num único documento, informação que se encontra dispersa por diretivas comunitárias, regulamentos nacionais e internacionais, normas e diversas publicações, com o objetivo de criar um guia de orientação para a implementação do controlo estatístico de processos de enchimento em geral. Para tal, associam-se as experiências vividas no contacto direto com os diferentes intervenientes e o estudo

de diversos autores, na tentativa de apresentar soluções simples e inovadoras de fácil aplicabilidade e interpretação em ambiente fabril.

4. Identificar as ferramentas de controlo e análise estatística mais adequadas, propostas por diversos autores para os processos de enchimento e, em particular, para processos de carácter descontínuo, quanto aos produtos e quantidades nominais a dosear.
5. Enquadrar estas ferramentas num sistema informático “amigável”, capaz de realizar a aquisição, tratamento e validação de dados em tempo real, em resposta às necessidades do mercado.
6. Validar a aplicabilidade desse sistema informático com o estudo de casos práticos.

1.3 Metodologia

A metodologia adotada para a realização deste trabalho e para atingir os objetivos referidos, baseou-se nas fases seguintes:

- 1- Contactos com associações sectoriais e entidades fiscalizadoras nacionais e internacionais;
- 2- Visitas a empresas produtoras de pré-embalados e de materiais de embalagem distribuídas por todo o território continental, dos seguintes setores de atividade: bebidas em geral (vinhos, sumos, cervejas, águas), azeites, lacticínios, café, doçaria em geral, alimentos para bebé, arroz, detergentes, tintas e fabricantes de vidro de embalagem;
- 3- Pesquisa bibliográfica e entrevistas com pessoas que estiveram na origem de documentos oficiais de regulamentação do controlo metrológico e de modelos de otimização dos processos de enchimento em fábrica;
- 4- Análise de casos práticos de processo de enchimento considerados de referência, com o objetivo de identificar as suas principais características técnicas e funcionais, bem como adequar o sistema informático a essas necessidades;
- 5- Acompanhamento do desenvolvimento informático da aplicação de controlo estatístico da *quantidade pré-embalada*;

- 6- Instalação da aplicação informática em algumas empresas embaladoras e aperfeiçoamento da mesma, em particular, da sua interface com o utilizador.

1.4 Estrutura

O trabalho que agora se apresenta está organizado em seis capítulos:

O primeiro capítulo é a “Introdução” e nele se refere o enquadramento do tema, os objetivos a atingir e a metodologia usada.

Para estudar a forma de otimizar o controlo dos conteúdos pré-embalados, é indispensável o conhecimento, *a priori*, das principais características destes processos e a integração de novas tecnologias de controlo estatístico com as disposições legais. Estes aspetos são abordados no segundo capítulo, nomeadamente, descrevem-se os documentos que estiveram na base da legislação atual e identificam-se as variáveis que afetam estes processos a partir de uma pesquisa bibliográfica.

No terceiro capítulo identificaram-se as técnicas e tecnologias propostas por diversos autores para o controlo estatístico de processos e apresentam-se as ferramentas necessárias ao desenvolvimento de um sistema informático de controlo estatístico de processos.

No quarto capítulo descreve-se o processo de engenharia de software, em particular, e identificam-se os requisitos de um sistema de controlo estatístico da *quantidade pré-embalada*.

No capítulo quinto apresentam-se os casos práticos em estudo e o modelo de otimização proposto para o controlo da *quantidade pré-embalada*.

No capítulo final apresentam-se as conclusões e indicam-se perspetivas de investigação para trabalhos futuros.

Este trabalho inclui ainda a bibliografia e um conjunto de anexos.

CAPÍTULO 2 ENCHIMENTO DE PRODUTOS PRÉ- EMBALADOS

2.1 Enquadramento Legal

Se se considerar que quase tudo o que se encontra nas prateleiras de um hipermercado é constituído por produtos pré-embalados e tendo em conta a diversidade de produtos, embalagens e quantidades nominais, constata-se a importância deste assunto num mercado cada vez mais global, em que as barreiras alfandegárias não se baseiam apenas na verificação da qualidade do produto, mas igualmente na sua quantidade.

Segundo o Decreto-Lei 199/2008 de 8 de outubro e a Portaria 1198/91 de 18 de dezembro o produto pré-embalado consagra o direito à qualidade, eficácia e segurança, em particular os produtos alimentares pelo contacto com os materiais de embalagem. Além disso há que proteger os interesses económicos cujos reflexos na bolsa do consumidor são manifestos, ou seja, saber se a quantidade anunciada é a quantidade com base na qual o produto é vendido.

Tornou-se deste modo imperioso o desenvolvimento de instrumentos internacionais e nacionais que confirmam direitos aos consumidores, ao longo de todo o processo de produção e comercialização.

A Carta do Conselho da Europa de Proteção do Consumidor de 17 de maio de 1973 e os programas da União Europeia que têm o seu arranque em 14 de abril de 1975 põem o acento tónico nos direitos que têm análoga expressão e conteúdo em todas as latitudes. A Constituição Portuguesa (Revisão de 1982) considera fundamentais os direitos do consumidor, ainda que fora de catálogo. Com a revisão de 1989, os direitos do consumidor passam a figurar no catálogo dos direitos fundamentais, no quadro dos direitos económicos, sociais e culturais (cfr. Artigo 60.º do Capítulo I do Título III da Constituição Portuguesa).

O Decreto-Lei nº. 24/96 de 31 de julho de 1996 garante os consumidores contra a não qualidade e estabelece no artigo 4.º do Capítulo II (Direitos dos Consumidores) uma norma genérica em que estatui a garantia do bom estado dos produtos e do seu bom funcionamento, estabelecendo no seu artigo 5.º:

“1. É proibido o fornecimento de bens ou a prestação de serviços que em condições de uso normal ou previsível, incluindo a duração, impliquem riscos incompatíveis com a sua utilização, não aceitáveis com o nível elevado de proteção da saúde e da segurança física das pessoas.

2. Os serviços da Administração Pública que, no exercício das suas funções, tenham conhecimento da existência de bens ou serviços proibidos nos termos do número anterior devem notificar tal facto às entidades competentes para a fiscalização do mercado.

3. Os organismos competentes da Administração Pública devem mandar apreender e retirar do mercado os bens e interditar as prestações de serviços que impliquem perigo para a saúde ou segurança física dos consumidores, quando utilizados em condições normais ou razoavelmente previsíveis.”

O princípio da precaução, como chave da segurança em todos os domínios e no da segurança alimentar, em particular, é hoje o cerne de toda a política de conceção e fabricação de produtos (Frota, 2000).

Em 1989, é adotada pela OIML (Organização Internacional de Metrologia Legal) a recomendação 87, sobre o controlo metrológico dos produtos pré-embalados, resultado de um trabalho desenvolvido pelo seu Comité Técnico nº. 6. Esta recomendação torna-se um referencial para legisladores e estatísticos, estando na base das diretivas comunitárias, transpostas para o direito nacional em 1991 (WELMEC, 1997 e 2002). Em outubro de 2000 é distribuída para discussão pública a 2ª. Revisão deste documento, sendo recebidos mais de 500 comentários e sugestões de alterações. Em dezembro de 2001 foi publicada a 3ª. Revisão da R 87 da OIML, a qual inclui em Anexo a descrição dos conceitos estatísticos que estão na base dos planos de amostragem, critérios dos conteúdos e da média. Em abril de 2004 este documento encontrava-se ainda em revisão.

Com a publicação deste documento o controlo metrológico das *quantidades pré-embaladas* por parte das entidades fiscalizadores torna-se uma realidade efetiva em todos os continentes, como é possível constatar pelo número de sítios da Internet, de entidades oficiais, desde o Japão, o MERCOSUL (Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai), a China, a Austrália, aos Estados Unidos e à União Europeia, com a descrição da legislação e

alertando as empresas embaladoras e importadoras para a necessidade de se verificar a *quantidade pré-embalada* e se demonstrar estatisticamente o cumprimento das disposições legais, de certa forma uniformes em todo o globo, devido à adoção da R 87 da OIML.

No âmbito internacional, há países em que as exigências, ao nível do controlo metrológico, são superiores às praticadas pelos países membros da União Europeia. Por exemplo, um lote enviado para um país integrante do MERCOSUL tem de ser acompanhado dos registos do controlo metrológico e do seu relatório de conformidade, sob pena de ficar retido na alfândega do país importador, de acordo com normas INMETRO (NIE-DIMEL023, NIE-DIMEL024, NIE-DIMEL025 e NIE-DIMEL026 disponíveis para consulta em <http://www.inmetro.gov.br/metlegal/docDisponiveis.asp>).

Associada à inexistência de atividades de fiscalização, regista-se, nas empresas embaladoras, a ausência de recursos humanos qualificados e de tecnologias informáticas que permitam a aquisição e tratamento estatístico dos dados, de uma forma simples e em tempo real

De acordo com o disposto nos Decretos-Lei 291/91 de 20 de setembro e 199/2008 de 8 de outubro e na Portarias 1198/91 de 18 de dezembro, o controlo metrológico dos produtos pré-embalados *“com quantidades nominais unitárias iguais ou superiores a 5 g ou 5 mL e iguais ou inferiores a 10 kg ou 10 L é obrigatório”*.

O Decreto-Lei 291/91 de 20 de setembro é um documento horizontal que determina as condições gerais do *“controlo metrológico dos métodos e instrumentos de medição, envolvidos em operações comerciais, fiscais, ou salariais, ou utilizados nos domínios da segurança, da saúde ou da economia de energia, bem como das **quantidades dos produtos pré-embalados** e ainda dos demais bancos de ensaio e meios de medição abrangidos”*.

O Decreto-Lei 199/2008 de 8 de outubro é igualmente um documento horizontal, mas no âmbito do controlo metrológico dos produtos pré-embalados. Este diploma estabelece as condições gerais de comercialização destes produtos, exigindo que a *“entidade cujo nome, firma ou denominação social que figure no rótulo do produto pré-embalado ou do importador deve dotar-se dos meios indispensáveis à execução das medições, correções e ajustamentos necessários”*, para além de exigir o registo e armazenamento dos dados durante um período que poderá ir de 3 a 18 meses, dependendo da natureza do produto. Apenas garantindo estas condições e o cumprimento das respetivas disposições

regulamentares, o embalador poderá colocar a marcação CEE, representada pelo símbolo “e”, no rótulo do seu produto.

O Regulamento do Controlo Metrológico das Quantidades dos Produtos Pré-embalados (Portaria 1198/91 de 18 de dezembro) determina os erros máximos admissíveis por defeito para cada quantidade nominal e os procedimentos que devem ser adotados pelas entidades inspecionadoras/verificadoras na colheita das amostras e na verificação individual e da média dos conteúdos efetivos.

Este regulamento determina ainda que é da “*Competência*” do Instituto Português da Qualidade (IPQ), das Direções Regionais do Ministério da Economia e de Entidades de Qualificação Reconhecida, como é o caso da empresa AFERYMED - Aferição e Medidas (cfr. número 3 do Regulamento, sob a epígrafe “*Competências*”), a realização dos ensaios de verificação, sendo o ónus de requerer o referido controlo, “*no mínimo uma vez por ano, para cada produto (com todas as características idênticas) e quantidades nominais*”, da própria pessoa jurídica que pretende comercializar produtos carecidos da dita verificação (cfr os nº. 4 e nº. 6 do Regulamento constante da Portaria nº. 1198/91 de 18 de dezembro, sob as epígrafes “*Notificação*” e “*Periodicidade*”, respetivamente).

A título de exemplo, como Organismo de Verificação Metrológica (OVM) das *quantidades pré-embaladas*, a AFERYMED realiza as verificações metrológicas dos conteúdos efetivos e da sua média; avalia a conformidade metrológica dos instrumentos de medição e os modelos estatísticos usados no controlo do processo de enchimento; analisa os registos desse controlo, emitindo um certificado quando os processos demonstram estar conformes.

Um determinado lote de produtos pré-embalados será aceite pelas entidades inspecionadoras quando satisfaz em simultâneo os critérios dos conteúdos efetivos e da média (cfr o nº. 7 do Regulamento constante da Portaria nº. 1198/91 de 18 de dezembro, sob a epígrafe “*Aceitação do Lote*”).

O incumprimento dos diplomas suprarreferidos constitui contraordenação, punível com coima de 10.000\$ a 300.000\$, no caso de pessoas singulares, ou até 3.000.000\$, no caso de pessoas coletivas (cfr o ponto 1 do Artigo 7.º do Decreto-Lei 310/91 de 17 de agosto)¹.

¹ Optou-se por usar os valores tais como apresentados no diploma com data anterior à implantação do Euro.

2.2 A problemática do controlo estatístico das quantidades de produtos pré-embalados na indústria

O desenvolvimento de sistemas informáticos de aquisição e tratamento de dados em tempo real possibilitaram a implementação das técnicas estatísticas como ferramentas de otimização e melhoria dos seus processos produtivos.

A aquisição e o processamento dos dados poderão ser realizados por vários métodos, diferentes ao nível dos equipamentos de medição, das características a monitorizar e da facilidade em atuar sobre o sistema.

Se bem que, numa primeira fase, essas tecnologias se tenham orientado para a monitorização de variáveis em processos contínuos, rapidamente se reconheceu a necessidade de as tornar aplicáveis à monitorização de produções de pequenos lotes e de características diversas, como são exemplo, a maioria dos processos de enchimento.

Neste sentido, torna-se imprescindível identificar os principais parâmetros que caracterizam os diversos tipos de processos de enchimento e os fatores que afetam a sua variabilidade e por conseguinte a conformidade do produto final face às especificações internas da empresa e aos requisitos legais.

2.2.1 Caracterização dos processos de enchimento de produtos pré-embalados.

Na Figura 2.1 e no Quadro 2.1 apresenta-se uma caracterização genérica dos processos de enchimento, que se diferenciam essencialmente no tipo de produto a dosear, na embalagem, no modo de funcionamento da enchedora e nos periféricos de monitorização. Referenciam-se igualmente os fatores controláveis e não controláveis mais comuns nestes processos.

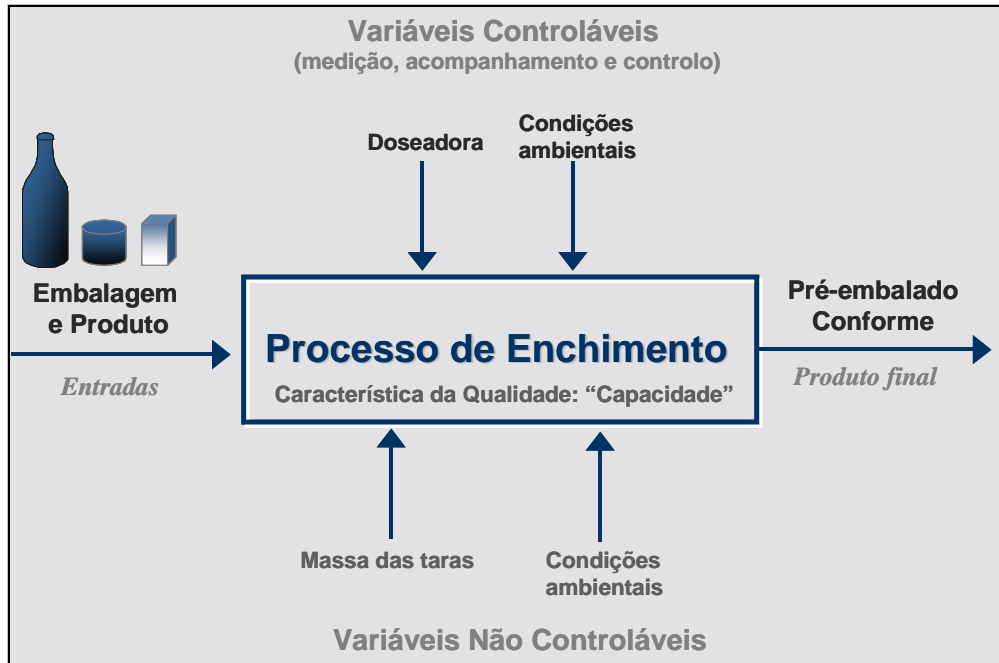


Figura 2.1- Processo de Enchimento genérico de um produto pré-embalado.

Quadro 2.1- Caracterização das entradas, das máquinas e dos meios de monitorização de um processo de enchimento genérico.

Objetivo do Processo: Quantidade pré-embalada em conformidade com a Portaria 1198/91 de 18 de dezembro e com as especificações técnicas do produto.			
Entradas	Produto:		Processo de enchimento:
	<ul style="list-style-type: none"> - Em massa (p.e: café, bolachas, detergentes em pó, sabonetes) - Em massa escorrida (p.e: vegetais em salmoura, sardinhas em óleo, peixe congelado conservado em água de vidragem) - Em volume (águas, vinhos, azeites e óleos, tintas) 		
	Embalagem:		
	<ul style="list-style-type: none"> - Vidro (p.e: garrafas, boiões) - Garrafas de Polímeros - Cartão (Tetra pak) - Películas (p.e usadas no café, papas, cereais, massas, bolachas, etc.) - Caixas de Polímeros ou cartão - Latas 		Tipos de Enchedoras: <ul style="list-style-type: none"> - A nível constante (usadas em produtos líquidos em vidro ou polímero, em latas e em cartão) - Volumétrica (usadas em produtos líquidos em vidro, p.e: óleos e azeites ou produtos em massa, p.e: café em grão ou moído, etc.) - Gravimétricas (produtos massa, p.e: vegetais crus) - Ponderais (produtos em massa, p.e: papas, cereais, bolachas, batatas fritas, etc.,) Periféricos usados no controlo da quantidade pré-embalada: <ul style="list-style-type: none"> - Células de carga em linha com ajuste automático da enchedora (controlo a 100%) - Células de carga em linha sem ajuste automático da enchedora (controlo a 100%) - Balanças adjacentes às linhas (controlo por amostragem) - Densímetros, termómetros, alcoómetros, viscosímetros, potenciómetros, etc.

2.2.1.1 Influência do Produto no seu Processo de Enchimento

Flutuações das características físico-mecânicas (ex: granulometria, humidade, calibre, viscosidade, densidade, tensão superficial, percentagem de sólidos em suspensão, migrações do soluto para o produto, temperatura, coeficiente de expansão) e/ou químicas (pH, grau alcoólico, concentração de açúcares) e/ou microbiológicas de um dado produto originam na maioria dos processos de enchimento variações na *quantidade pré-embalada*.

Por exemplo, em produtos comercializados em unidades de massa, como é o caso do café torrado, as fontes de variação do produto no processo de enchimento variam, caso se trate de café em grão ou moído. No café em grão é fundamental aprovar por inspeção o calibre do café-verde (matéria-prima) e a cor de cada torra, ao passo que no café moído é essencial o controlo do processo de moagem.

No caso prático: “Enchimento de Vegetais enlatados” em análise no Capítulo 4, constata-se que a massa escorrida de um vegetal varia consideravelmente ao longo do processo de fabrico do mesmo, dada a absorção de soluto (salmoura) por parte do vegetal. Nesse estudo, comprova-se a ideia preconizada pelos técnicos da empresa COMPAL SA de que a quantidade de vegetal em cru doseado na enchedora telescópica duplica após a adição de salmoura e pasteurização em autoclave.

Nos produtos congelados vendidos em massa, o embalador está limitado a uma percentagem máxima de vidragem de 15% (Norma NP-1232 de 1976).

Nos produtos comercializados em unidades de volume a densidade é geralmente o fator determinante, dada a monitorização por pesagem da *quantidade pré-embalada* e atendendo ao facto de esta característica variar com a temperatura do enchimento e outros parâmetros inerentes ao produto, como é o caso do grau alcoólico nos produtos vitivinícolas, para os quais é utilizada a Tabela de conversões do Jornal Oficial das Comunidades Europeias N.º 2676/90 da Comissão de 17 de setembro de 1990.

O impacto destas flutuações é, na maioria das empresas, minimizado através de planos de boas práticas de fabrico e de monitorização implementados a montante dos processos de enchimento, de forma que a parametrização das enchedoras resulte de uma ação concertada entre os diferentes setores produtivos do embalador.

2.2.1.2 Influência da embalagem, das doseadoras e dos dispositivos de monitorização na conformidade da *quantidade pré-embalada*

A influência da embalagem, por exemplo, quando se trata de vidro é determinante, mas é praticamente negligenciada nos restantes tipos de embalagem.

As embalagens de vidro usadas, por exemplo na indústria cervejeira, de refrigerantes, vitivinícola, olivícola, entre outras, apresentam, devido ao modo de fabrico do vidro, variações significativas, essencialmente, no valor médio da massa de cada embalagem e consequentemente no seu volume efetivo. Esta afirmação é fundamentada no Capítulo 4 com a análise do caso prático “Enchimento de Sumos e Néctares em Vidro” e pela experiência adquirida desde 1999 no contacto direto com os embaladores e os fornecedores de vidro de embalagem e pela análise de alguns certificados que acompanham os lotes de garrafas.

A variação da massa média das taras (embalagem) e consequentemente do seu volume efetivo é grave, quando se tratam de doseadoras a nível constante, em conformidade com a perceção do consumidor para a identificação da *quantidade pré-embalada*. Assim, duas garrafas, com níveis idênticos poderão apresentar capacidades diferentes, devido a flutuações no volume interno da embalagem.

Este problema agrava-se com o facto de os limites permitidos pela Diretiva 75/107/CEE para as garrafas recipiente de medida serem divergentes dos considerados pelas diretivas 75/106/CEE, 80/232/CEE e 76/211/CEE, transpostas para o direito português, através da Portaria 1198/91 de 18 de dezembro, para o conteúdo pré-embalado.

Por este motivo, o controlo metrológico no setor dos vinhos é hoje realizado de forma manual: o operador retira, em períodos de tempo consecutivos, garrafas vazias e cheias, pesa-as, determina a densidade do vinho corrigida pelo fator temperatura e grau alcoólico e obtém o volume de líquido presente em cada embalagem.

De realçar que na indústria agroalimentar, o setor dos vinhos tem uma importância significativa em muitos países. Atualmente, a União Europeia ocupa um lugar dominante, não só a nível da qualidade como também da quantidade, no mercado mundial do vinho, representando 45% das superfícies vitícolas do globo, 65% da produção de vinho, 57% do consumo mundial deste produto e ainda 70% das exportações mundiais.²

² Comissão Europeias - DG Agricultura - http://europa.eu.int/comm/agriculture/markets/wine/index_pt.htm

Nas doseadoras volumétricas, a problemática associada às flutuações da massa da tara é de alguma forma minimizada, mas apenas nos casos em que o controlo do nível não é significativo, como são exemplos os produtos de embalagem opaca ou doseados a bordo rasante. Geralmente estas doseadoras apresentam variações de bico para bico de enchimento, estando associado a cada bico um reservatório de volume previamente ajustado para a quantidade pretendida (Prudêncio, 1994).

As doseadoras ponderais são usadas em produtos comercializados em massa, geralmente embalados em películas, sendo a embalagem formada na própria máquina, como é o caso de bolachas, papas, cereais, todo o tipo de frutos secos, aperitivos, entre outros. Estas doseadoras podem ser constituídas por uma ou várias cabeças (que doseiam o produto) e ainda por uma ou mais soldaduras (que fecham o pacote). Em cada cabeça, existe uma célula de carga, sendo a quantidade doseada resultante do débito de várias cabeças. Estas máquinas apresentam excelentes resultados face à *quantidade pré-embalada* e uma produção horária mais elevada que as restantes máquinas. A jusante destes sistemas de enchimento poderão existir células de carga de pesagem dinâmica que estarão ou não associadas à doseadora com o objetivo de enviarem sinais de ajuste da quantidade. A estas células de carga estão geralmente associados detetores de metais.

Apesar de este tipo de enchimento ser muito comum em Portugal, é ainda reduzido o número de empresas que detêm este tipo de pesagem a jusante do enchimento, sendo o controlo da *quantidade pré-embalada*, quando implementado, efetuado com recurso a balanças adjacentes às linhas, com o registo manual dos dados.

2.2.2 Otimização dos processos de enchimento de produtos pré-embalados.

Na maioria das indústrias embaladoras é comum a prática de um enchimento por excesso, problemática em produtos com elevados coeficientes de expansão com a temperatura, como são exemplo os óleos e azeites. Por outro lado, itens com capacidade por defeito podem cair em incumprimento das disposições legais. Geralmente, estes itens são rejeitados. Em certas indústrias, quer haja quantidade em excesso ou por defeito, os itens considerados defeituosos são rejeitados e o produto é reintroduzido na linha de enchimento (Misiorek e Barnett, 2000). Por exemplo, no processo de enchimento de vegetais em Lata da empresa COMPAL SA, a quantidade em excesso pode pôr em causa a segurança do produto enlatado, devido a problemas de hermeticidade das embalagens e de pasteurização.

Assim, a otimização dos processos de enchimento consiste na resolução contínua de um problema no qual se pretende maximizar o lucro por unidade produzida, sujeito a restrições relacionadas com o custo dos desperdícios, o custo de um enchimento por excesso e o custo de reintrodução do produto não conforme no processo produtivo.

O estudo deste problema de otimização é apresentado em diversos artigos que vêm sendo publicados desde a segunda metade do século XX.

Burr (1949), Springer (1951) e Bettles (1962) foram os primeiros a apresentar uma resolução deste problema de otimização, com o objetivo de encontrar o valor médio da quantidade pré-embalada que minimizasse o custo de produção desse produto. O trabalho de Burr (1949) foi posteriormente desenvolvido por Nelson (1979) com a apresentação de um método gráfico de otimização.

Em 1977 Hunter e Kartha publicam um artigo que ainda hoje é considerado como uma referência nos mais diversos livros de controlo estatístico, como é o caso Montgomery (1997), propondo um método gráfico simples de determinação do valor ótimo que maximizava a função lucro, sujeita a restrições, tais como: um decréscimo gradual do preço de venda de cada unidade, os custos associados à quantidade de produto em excesso e a variabilidade do processo. Apesar do sucesso deste método, os autores consideravam que, assim que obtido o valor ótimo, deixavam de ser necessárias ações de controlo subsequentes. Esta limitação é superada no modelo apresentado por Nelson (1978) que inclui juntamente com os gráficos de otimização um gráfico dos erros. Uma generalização deste modelo é proposta por Bisgaard, Hunter e Pallesen (1987) que consideram não só a otimização da média do processo como também da sua variância. Estes autores eliminam a hipótese, apresentada em Hunter e Kartha (1977), de as unidades defeituosas por falta de produto poderem ser vendidas todas ao mesmo preço, considerando que seriam vendidas a um valor proporcional à quantidade que apresentam. Contudo, esta suposição não é de todo realista, uma vez que a legislação dos pré-embalados é clara quanto à premissa de que os produtos com capacidades abaixo de determinados limites não podem ser vendidos (cfr o nº. 7 do Regulamento constante da Portaria nº. 1198/91 de 18 de dezembro, sob a epígrafe “Aceitação do Lote”).

Um modelo similar ao de Hunter e Kartha (1977) foi estudado por Carlsson (1984). Neste documento o autor avalia a seleção da média do processo em função dos custos de produção e preço de venda. No entanto, a análise do problema tinha por caso em estudo a indústria de aço, onde os itens defeituosos eram vendidos a um preço mais reduzido ou reintroduzidos no processo. A situação na qual ou o consumidor está disposto a pagar um

valor mais elevado por um produto de qualidade e/ou o produtor terá de compensar o seu cliente por má qualidade eram também equacionadas por Carlsson (1984). Ora, esta hipótese viola os direitos do consumidor.

Golhar (1987) estuda este problema no enchimento de latas, considerando a venda das latas com produto em excesso e a destruição das latas com quantidade por defeito e reintrodução do produto no processo, afeto de um custo. A capacidade da embalagem era implicitamente assumida como infinita.

O estudo destes processos é, em 1989, analisado por Schmidt e Pfeifer que avaliaram o impacto da redução do desvio padrão desses processos com a minimização dos custos de produção, tendo sido encontrada uma relação linear entre estes dois fatores. Estes autores assumiam que o retorno financeiro associado a cada lata é constante, sendo equivalente equacionar a minimização dos custos ou a maximização dos lucros.

Golhar e Pollock (1988) incluíram no modelo proposto em Golhar (1987) um limite superior na estrutura de custos, considerando, também, a destruição das latas com uma quantidade acima do limite superior. Este modelo é aplicável em processos onde as quantidades nominais a dosear são elevadas. O âmbito desta proposta é alargado por Schmidt e Pfeifer (1991) que alteram a função objetivo do lucro, incluindo não só a reintrodução no processo das latas com produto em excesso como a rejeição de latas com produto em defeito.

Bai e Lee (1993) concentraram-se na análise de um processo de enchimento onde todas as latas são inspecionadas com base na verificação do cumprimento de um limite inferior de especificação da sua capacidade. Equacionam igualmente a determinação do valor ótimo dos parâmetros do processo (média e variância) com a premissa de as latas com capacidade em excesso, serem todas vendidas a igual preço.

Lee e Kim (1994) alargam o âmbito do modelo de Bai e Lee (1993), incluindo um limite superior de controlo para a inspeção a 100%. Neste estudo, ambas as latas com excesso ou défice de produto seriam esvaziadas e reintroduzidas no processo. Este modelo de otimização considerava tanto os preços de venda como os custos de inspeção e de tratamento do produto defeituoso, bem como os custos associados a penalizações.

Misiorek e Barnett (2000) reúnem as ideias apresentadas pelos autores citados, e apresentam um modelo de otimização que se baseia essencialmente num processo de enchimento automático onde as embalagens são doseadas com uma quantidade de produto em volume representada pela variável X . Assume-se que X é normalmente distribuída com média T e variância σ^2 . Num contexto real os autores aconselham a

verificação deste pressuposto. O valor da quantidade nominal presente no rótulo de cada produto é dado por L e a capacidade da embalagem é representada por $L+k$. Em muitas situações $L+k$ poderá corresponder à capacidade máxima de cada embalagem. De acordo com a legislação australiana de pesos e medidas e em consonância com a recomendação 87 da OIML, a probabilidade de aceitação de produto pré-embalado com uma capacidade dentro dos limites legais admissíveis é de 95%. Por esta razão, o conteúdo efetivo de um pré-embalado é dada por hL , onde $0 < h < 1$. Um sistema de rejeição automática eliminará produtos com capacidades inferiores a hL . O custo do produto na embalagem é dado por $g(x)$, onde g é o custo do produto por unidade de volume. O objetivo é então fixar um valor médio para a quantidade a dosear que maximize o lucro esperado por embalagem, sendo a relação entre as diversas variáveis hL , L , $L+k$ e T representada na Figura 2.2.

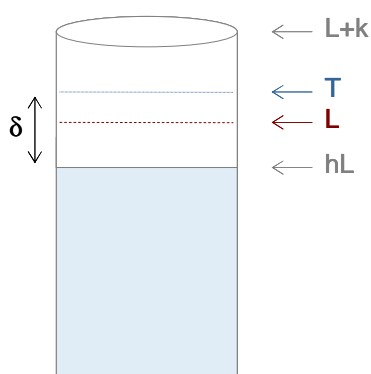


Figura 2.2- Relação entre as variáveis hL , L , $L+k$ e T

A função objetivo a maximizar, restrições e pressupostos serão:

$$\text{Max } T = hL + \delta \quad (\delta > 0), \text{ sendo } \delta \text{ o desvio permitido.} \quad \text{Eq. (2.2.2.1)}$$

Sujeita a:

$G_1(x)$ = custos com desperdícios

$G_2(x)$ = custos do quantidade em excesso

$G_3(x)$ = custos de reintrodução do produto no processo.

$G_4(x)$ = custos relacionados com o cumprimento das disposições legais.

e com base nos seguintes pressupostos:

7- O custo da embalagem está incluída na função lucro;

8- O lucro associado aos itens com quantidade em excesso é proporcional à quantidade de produto na embalagem;

- 9- Itens com capacidade em excesso podem ser reintroduzidos no processo ou simplesmente rejeitados, ambas as situações estão relacionadas com o custo da embalagem;
- 10- Itens com capacidade por defeito podem ser esvaziados e o produto é introduzido no processo ou o produto é atestado com mais produto, ou o produto é rejeitado. No caso de sprays como a embalagem terá de ser destruída para retirar o produto, ou no caso em que a embalagem é de difícil higienização, será menos oneroso rejeitar o produto.

Assim, o lucro obtido em itens com capacidade em excesso será dado por:

Lucro = Preço de venda - Custos do processo de enchimento - Custos da embalagem – Custos de produção do produto – custos de reutilização do excesso

Se $x < hL$ a embalagem é esvaziada e desperdiçada e reutilizado o produto, neste caso a função lucro é dada por:

Lucro = Preço de venda - Custos do Processo de Enchimento - Custos da embalagem – Custos da operação de vazamento e de reintegração do produto na linha de enchimento.

Uma vez que os custos do processo de enchimento (C_f) e os custos da embalagem (C_c) são comuns a estas duas situações, considera-se o somatório destes custos (C) no problema de otimização que é dado por:

$$Max P(x) = \begin{cases} S - C - g(L+k) - c_1(x-L-k) & x \geq L+k \\ S - C - gx & hL \leq x < L+k \\ -C - c_2 & x < hL \end{cases} \quad \text{Eq. (2.2.2.2)}$$

onde,

S- preço de venda;

C- custo total do processo de enchimento e da embalagem;

x- quantidade de produto na embalagem;

g- custo do produto;

L- valor nominal normalizado da quantidade indicada no rótulo ($L=1$);

L+k- capacidade da embalagem;

h- conteúdo efetivo normalizado mínimo admissível ($h=0,95$);

c_1 - custo de aproveitamento da quantidade em excesso;

c_2 - custo de vazamento do produto e seu reaproveitamento.

No entanto, e de acordo com as ideias preconizadas por diversos autores, tais como, Bank (1993), Woodall e Montgomery (1999) e Kolesar (1993) é reduzida a aplicabilidade dos modelos de otimização propostos, uma vez que se concentram apenas na determinação do

valor médio ótimo para o controlo da *quantidade pré-embalada* e de ajuste das doseadoras, não contabilizando a variabilidade destes processos no tempo.

Em todo o caso, torna-se relevante uma abordagem resumida da contribuição desses autores na determinação de um ótimo e na classificação e quantificação dos vários custos de produção destes processos.

Na maioria dos casos, tal como demonstrado no capítulo 5, não é possível efetuar um ajuste da doseadora para um valor previamente calculado. Por exemplo, no caso prático número 5 de vegetais enlatados, a quantidade a dosear é apenas definida pela capacidade da embalagem que poderá ser de 28 oz ou de 14 oz.

Por outro lado, nas doseadoras onde é possível efetuar uma pré-marcação da quantidade a dosear, o valor ótimo depende da variabilidade da linha, sendo este valor estabelecido pelo operador com base na experiência e no histórico do controlo estatístico deste processo. Geralmente, no arranque de uma linha de enchimento, são realizadas algumas pesagens com o objetivo de identificar necessidades de ajuste. Ao longo do enchimento, através da monitorização da *quantidade pré-embalada* em tempo real, o operador atua sobre o processo sempre que achar conveniente.

De facto, a constante variabilidade dos processos de enchimento associada muitas vezes a limitações de ordem técnica de ajuste das doseadoras, inviabiliza de certa forma a aplicabilidade dos modelos de otimização propostos, sendo por isso fundamental o controlo dessa variabilidade ao longo do tempo.

Por isso se objetivou como âmbito do presente trabalho a definição de soluções capazes de reproduzirem, em tempo útil, o comportamento da generalidade dos processos de enchimento, com recurso a técnicas estatísticas, ao invés de se centrar num problema de otimização, que teria de ser necessariamente específico para cada processo.

No capítulo seguinte analisa-se a importância e aplicabilidade das diversas técnicas estatísticas no controlo dos processos de enchimento.

CAPÍTULO 3 CONTROLO ESTATÍSTICO DA “QUANTIDADE PRÉ-EMBALADA”

Devido à crescente complexidade e diversidade dos produtos pré-embalados e à necessidade de cumprir os requisitos legais e os impostos por um cliente cada vez mais exigente, os processos industriais têm vindo a ser redefinidos, isto é, a indústria tem sofrido inovações em áreas capitais para o seu desenvolvimento.

Entidades como centros de investigação e empresas privadas de I&D têm dispendido parte dos seus recursos (num esforço conjunto) na investigação de novas tecnologias, em particular, relacionadas com o controlo estatístico de processos. Como evidência do interesse dos profissionais da qualidade por estes assuntos, tem-se que o número de subscritores da *Divisão de Estatística da American Society for Quality (ASQ)* (11.000) é cerca de 60% do nº. total de associados da *American Statistical Association* (18.000) (Woodall, 2000).

Tal como referenciado em Woodall e Montgomery (1999), há diferentes opiniões em todas as áreas das ciências estatísticas, em particular as aplicadas na área da qualidade, onde as divergências tendem a ser cada vez mais comuns. Este facto deve-se, em parte, pela diversidade dos trabalhos de investigação desenvolvidos por “*gurus*”, consultores, engenheiros da qualidade e da produção, estatísticos e gestores e pelos avultados investimentos das empresas em programas de melhoria contínua dos processos produtivos.

Neste contexto, este capítulo tem como principal objetivo descrever as técnicas estatísticas preconizadas por diversos autores para o controlo estatístico de processos produtivos em geral, e em particular, no controlo da característica “*quantidade pré-embalada*” em processos de enchimento, não deixando de referenciar as controvérsias e contradições inerentes a essas opiniões.

Estas ferramentas serviram de base ao desenvolvimento do modelo de informação utilizado nos sistemas informáticos ACCEPT - Ajuda Computadorizada ao Controlo Estatístico de Processos e ACCEPT-vino.

3.1 Conceitos fundamentais do controlo estatístico da qualidade.

O controlo estatístico de processos, vulgarmente designado por SPC (*Statistical Process Control*), subárea do controlo estatístico da qualidade (SQC- *Statistical Quality Control*), consiste num conjunto de métodos usados para a monitorização e aperfeiçoamento contínuo dos processos industriais.

Compreender a variância dos dados de uma característica da qualidade é o principal objetivo do SPC. Esta variância pode ser devida à ocorrência de causas comuns, inerentes à natureza dos processos e que não podem ser corrigidas sem uma alteração significativa do mesmo e de causas especiais, associadas a problemas específicos, na maioria dos casos, facilmente identificáveis e resolvidos. Um dos objetivos das cartas de controlo, a ferramenta base do SPC, consiste em distinguir entre estes dois tipos de variação, de forma a prevenir a ocorrência de produto não conforme e identificar o momento em que se deve atuar sobre o processo. No entanto, uma causa comum hoje poderá ser amanhã uma causa especial de variação (Woodhall, 2000).

O SQC inclui como principais ferramentas:

- Os métodos de aceitação por amostragem, usados para decidir sobre lotes de produção ou sobre lotes individuais de matérias-primas, ou materiais subsidiários;
- As técnicas de SPC, aplicadas na monitorização dos processos produtivos ao longo do tempo e na deteção de mudanças no desempenho dos mesmos;
- O desenho de experiências, onde é possível identificar os principais fatores e seus níveis que afetam o processo e a qualidade do produto;
- A análise de capacidade, com o objetivo de garantir que os processos são capazes de cumprir os limites de especificação impostos a uma dada característica, ou internamente pela empresa ou pelos seus clientes.

Até aos anos 80, os livros de controlo estatístico davam igual importância à aceitação por amostragem e ao SPC. No entanto, devido à influência de W. E. Deming que argumentava eloquentemente contra a utilização da aceitação por amostragem, a sua importância foi sendo cada vez mais diminuta. Deming caracterizava a aceitação por amostragem como “tardia, cara e ineficaz” (Woodall e Montgomery, 1999).

Em contrapartida, tem aumentado a atenção dos investigadores sobre os desenhos de experiências, principalmente devido à influência de Genichi Taguchi que no início da

década de 80 apresentou uma metodologia que usava o desenho de experiências para tornar os processos menos sensíveis às variações transmitidas por fatores de difícil controlo.

Uma outra razão para o abandono da aceitação dos lotes por amostragem e utilização do SPC e dos desenhos de experiência relaciona-se com o facto de a eficiência dos métodos estatísticos aumentar significativamente quando se considera em análise toda a cadeia de valor de um produto, desde a fase de projeto, desenvolvimento, fabricação e distribuição.

Todavia, é ainda muito comum encontrar em diversos setores da indústria portuguesas o controlo dos seus processos produtivos baseados numa aceitação/rejeição dos lotes através da aplicação dos planos de amostragem, em particular por atributos, recomendados pela família de Normas ISO 2859. Esta opção está associada à simplicidade das normas e ao facto de o responsável pela inspeção poder decidir, de acordo com uma norma, sobre a conformidade do lote, ao passo que o SPC e os desenhos de experiência ou a análise da capacidade de um processo exigem uma formação específica em estatística. Por exemplo, na indústria embaladora é comum o controlo metrológico da *quantidade pré-embalada* ser realizado de acordo com os planos de inspeção da Portaria 1198/91 de 18 de dezembro, que se baseiam num plano de amostragem simples ou duplo com um nível de qualidade admissível (NQA) de 2,5%. Este procedimento, para além de moroso, não informa o embalador da qualidade do seu processo de enchimento, mas apenas se um dado lote, selecionado aleatoriamente, é aceite ou rejeite. Na maioria dos casos, há ainda a agravante de a definição de “lote” não coincidir com a da Portaria. Na Portaria o “efetivo do lote” corresponde à produção horária de uma linha de enchimento ou ao máximo de 10.000 existências, quando a inspeção é realizada em armazém. Por exemplo, para uma produção horária superior a 3200 unidades, essa Portaria estabelece que o número de unidades a recolher num plano de amostragem simples é de 125, para um NQA de 2,5%, com um critério de aceitação de 7 unidades. Para além disso, os critérios de aceitação da Portaria baseiam-se num erro admissível por defeito, que por exemplo, para quantidades nominais entre 500 mL ou g e 1000 mL ou g é de 15 mL ou g. Nalgumas das empresas visitadas (Anexo 1), nas quais se traçavam cartas de controlo para a *quantidade pré-embalada*, usava-se o valor do erro admissível por defeito para estabelecer os limites de controlo (superior e inferior).

Confundem-se assim os conceitos inerentes a um plano de inspeção, da competência das entidades fiscalizadoras, com as atividades de controlo dos processos de enchimento que deveriam ser implementadas pelos embaladores.

Numa tentativa de clarificar conceitos e otimizar procedimentos, foram realizadas diversas ações de informação/formação junto das entidades embaladoras. Desse trabalho, surgiu a ideia de desenvolver uma aplicação informática (o ACCEPT) que permitisse aos embaladores, de uma forma simples, controlarem os seus processos de enchimento. Essa aplicação, descrita no Capítulo 4, engloba algumas ferramentas do SPC, a análise de capacidade e uma análise de variância, segundo o Teste de Bartlett, para além de permitir simular um plano de inspeção de acordo com a Portaria 1198/91 de 18 de dezembro.

Assim, apresentam-se nos próximos itens deste capítulo, as técnicas estatísticas recomendadas por diversos autores para o controlo estatístico de processos, com especial realce para as técnicas que foram consideradas na aplicação informática ACCEPT.

3.2 Controlo Estatístico do Processo (SPC).

3.2.1 Resenha Histórica

Segundo Woodall e Montgomery (2000) os fundamentos básicos do SPC e das cartas de controlo foram propostos entre os anos 20 e 30 por Walter Shewhart, mas foi a partir dos anos 80 que surgiu o interesse pelo SPC, a par da “Revolução da Qualidade”, resultado de uma crescente globalização dos mercados e conseqüente incremento dos níveis de qualidade dos produtos, como único meio de sobrevivência das indústrias.

Muitos dos métodos inicialmente propostos para a monitorização e controlo estatísticos de processos, tinham uma natureza *ad hoc*, e eram desenhados para características quantitativas (“variáveis”) e para simplificar os cálculos, dada a ausência de sistemas informáticos de suporte, recorria-se ao cálculo da amplitude como medida da variabilidade de uma amostra, ao invés do cálculo da sua variância. Atualmente é ainda muito comum a indústria recorrer às cartas de média e amplitude para o controlo estatístico dos seus processos.

As cartas de controlo são usadas para verificação em contínuo da estabilidade de um processo. Neste contexto, um processo diz-se “*sob controlo estatístico*” se a distribuição de probabilidade representada pela característica em análise é constante no tempo. Se ocorrer uma variação no tempo desta distribuição, o processo diz-se “fora de controlo”. Um processo está então “sob controlo estatístico” quando as únicas causas de variação são as das causas naturais ou comuns. No entanto, o estado de controlo estatístico não é o estado habitual dos processos de fabrico, é antes um resultado obtido mediante uma persistente

eliminação contínua, uma após a outra, de todas as causas especiais de variação (Woodall, 2000).

Para características contínuas, os limites de especificação são geralmente obtidos pela experiência. Um item é considerado “ok” se o seu valor cumpre as especificações, caso contrário será “não ok”. Deming (1986) e muitos outros autores argumentaram que o cumprimento das especificações não é suficiente nem para garantir a qualidade dessa característica nem a redução da sua variabilidade. Portanto, o comportamento da maioria das características deverá ser descrito por uma distribuição de probabilidades centrada no valor nominal da mesma e com uma variabilidade mínima.

Segundo Shewhart (1931, 1939) um processo estaria “fora de controlo” se uma dessas amostras apresentasse um valor fora dos limites de controlo, calculados com base em ± 3 desvios-padrão da média do processo. No entanto, como é possível constatar mais adiante no texto, esta regra é insuficiente para prevenir a ocorrência de situações fora de controlo. As ideias de Shewhart baseavam-se portanto numa decisão “ok/nOk”, muito similar à de um teste de Hipóteses.

Juran (1997) e outros autores como Box e Kramer (1992) classificaram “as cartas de controlo como um sistema contínuo de testes de hipóteses”. No entanto, Deming (1986) defendia ferozmente as cartas de controlo em detrimento dos testes de hipóteses, chegando a afirmar que “*o teste chi-quadrado e outros testes de significância não tinham qualquer interesse aqui ou em qualquer outra aplicação*”. Este autor argumentava que as regras usadas nas cartas de controlo para a identificação de causas especiais não eram testes de hipóteses.

As opiniões divergentes acerca da relação entre as cartas de controlo e os testes de hipóteses, provavelmente resultaram da lacuna existente até à data na distinção entre a **1ª** e **2ª fases** da implementação do controlo estatístico de processos na indústria.

Numa **1ª. Fase** verifica-se se um processo está “sob controlo estatístico”, ou seja, recolhem-se dados do processo, ou analisa-se o seu histórico, determinam-se os limites de controlo e confirma-se o cumprimento das regras. Caso, nesta fase, o processo seja considerado “sob controlo estatístico”, passa-se à **2ª. Fase**, que consiste em fixar os limites de controlo anteriormente determinados e verificar se os valores obtidos, periodicamente ao longo do processo, apresentam o mesmo comportamento, ou seja se a distribuição estatística dos valores se mantém constante ao longo do tempo. Numa situação de

processo “sob controlo estatístico” é possível averiguar a capacidade do processo em cumprir as especificações impostas interna ou externamente.

Caso o processo tenha “falhado” na **1ª. Fase**, será necessário averiguar quais as causas especiais de variação que provocaram alterações na distribuição dos valores do processo. Esta análise pode unicamente basear-se na experiência dos operadores ou em análises mais robustas que poderão integrar um desenho de experiências, uma análise de correlação multivariada, ou eventualmente alterações físicas do processo, como a substituição de equipamentos ou ainda a formação dos operadores, entre outros aspetos que terão de ser analisados cautelosamente caso a caso.

Segundo Woodall (2000), a abordagem realizada para a **2ª. fase**, na qual a forma da distribuição deverá ser conhecida, sempre que os valores demonstrem que o processo está sob controlo estatística, é semelhante à de um sistema contínuo de testes de hipóteses, especialmente quando uma causa resulta numa variação de um parâmetro do processo. Por outro lado, na **1ª. fase** as cartas de controlo assemelham-se a uma análise de variância.

Geralmente na indústria, distinguem-se **três etapas** na aplicação das técnicas de controlo estatístico:

1ª. Etapa: Detecção de causas especiais com uma certeza baseada na matemática estatística e eliminação dessas causas.

2ª. Fase: Manutenção do processo sob controlo. Após a eliminação das causas especiais obtém-se uniformidade na qualidade da produção com evidentes vantagens nos aumentos de produtividade e em redução de custos, sendo imediatamente detetada uma causa especial.

3ª. Fase: Melhoria do Processo. O controlo estatístico permite ainda comprovar o resultado do desencadeamento de ações de melhoria que atenuem o efeito da variação provocada pelas causas naturais, permitindo assim melhoria contínua da uniformidade e do próprio processo.

Estando o processo sob controlo estatístico este terá um comportamento previsível, sendo possível conhecer a capacidade do mesmo em satisfazer as suas especificação.

Os métodos desenvolvidos por Shewhart, na primeira metade do século XX, são ainda hoje utilizados na indústria, dada a sua simplicidade, apesar do seu fraco desempenho na

deteção de causas de variação e da sua aplicabilidade estar restrita ao controlo de uma única característica da qualidade e a produções contínuas.

Com o objetivo da total satisfação de um cliente cada vez mais exigente e insatisfeito, integrado num mercado global, os empreendedores vêm-se hoje obrigados a apresentar um *portfólio* de serviços e/ou produtos diversificado e constantemente atual. Por este motivo, foi necessário requalificar as unidades industriais com vista à produção de lotes à “medida do cliente”, de menor dimensão e com um tempo de armazenagem praticamente nulo.

Associada a esta mudança, novos modelos de controlo estatístico para os denominados processos de “pequenas” produções, vulgarmente conhecidos por **Short Run Productions**, têm sido propostos (Montgomery, 1997). Estas abordagens são alvo de especial atenção neste estudo, dada a natureza descontínua dos processos de enchimento em geral.

A **análise multivariada** foi outras das técnicas incorporadas no SPC, uma vez que muitos dos processos industriais requerem o controlo ou monitorização em simultâneo de mais do que uma característica da qualidade, desde que estas sejam independentes. Por exemplo, pretende-se controlar tanto o diâmetro interno (x_1) como o externo (x_2) de uma peça. Hotelling (1947) foi o pioneiro da análise multivariada, quando aplicou estes conceitos na análise de coordenadas de bombardeamentos, durante a segunda Guerra Mundial.

Atualmente, dada a existência no mercado de inúmeros sistemas informáticos de recolha e tratamento de dados em tempo real, tornou-se relativamente simples a implementação do SPC e em particular do controlo da qualidade multivariada.

3.2.2 O desfasamento entre a Teoria e a Prática na aplicação do SPC

Nas últimas décadas têm sido inúmeros os avanços no SPC. No entanto, em muitos casos, o seu impacto foi reduzido, tal como Crowder (1997) afirmou: “Em algumas áreas de investigação em SPC existe um enorme desfasamento entre os métodos desenvolvidos e a sua aplicação”. Este desfasamento está intimamente relacionado com fraca formação em estatística dos utilizadores das ferramentas do SPC, havendo assim resistência à sua implementação.

Segundo Woodall e Montgomery (1999) muitos investigadores consideravam como concluído o seu trabalho após a publicação dos seus resultados, sendo reduzido o número daqueles que se empenharam em visualizar a implementação desses estudos num

ambiente real ou a desenvolverem aplicações informáticas capazes de tornarem acessíveis à indústria essas investigações. Por outro lado, ideias inovadoras e funcionais geralmente nunca chegavam a ser publicadas.

Em muitos casos, o trabalho era escrito de tal forma que apenas um número restrito de industriais conseguia entender. Assim, a maioria das mudanças impostas no SPC foram devidas ao trabalho de analista de software e consultores, aos quais era exigido investigação rápida e funcional. Woodall e Montgomery (1999) consideram ainda que as razões deste problema são bem conhecidas, mas difíceis de solucionar. Na maioria dos centros de investigação, o número de publicações está intimamente relacionado com questões de financiamento e progressões nas carreiras, para além de o estatuto de um artigo estar associado à sua complexidade matemática. Segundo Box (1990, 1994 e 1995) o uso do paradigma da matemática na estatística poderá traduzir-se num grave erro, prevalecendo a dificuldade das demonstrações de cálculo à aplicabilidade da estatística.

Tal como em muitas áreas da estatística, algumas das investigações realizadas no âmbito do SPC não são diretamente aplicáveis aos “processos reais”. Muitas nunca tiveram mesmo intenção de o ser, sendo o objetivo último a sua publicação em Jornais conceituados.

Obviamente que alguns tópicos têm valor intelectual e teórico, mesmo que a sua aplicação prática imediata não seja óbvia. Um bom exemplo, apresentado por Woodall e Montgomery (1999) está relacionado com as primeiras publicações nos anos 50 sobre os desenhos de experiências. Houve inicialmente alguma resistência na aplicação destes conceitos, sendo atualmente crescente a sua utilização, por parte da indústria, como ferramenta de melhoria contínua.

Assim, segundo Woodall e Montgomery (1999) muitas áreas da investigação em SPC têm de ser redirecionadas no sentido de avaliarem a sua aplicabilidade em ambientes reais. Por exemplo, Banks (1993) criticou fortemente os investigadores que se dedicavam à otimização das cartas de controlo em termos económicos, argumentando que este assunto não teve o mínimo impacto na prática ao fim de 40 anos de investigação. Esta otimização, *contrario senso* ao desejado pela indústria, requer a aplicação de métodos complexos para o estudo de ferramentas simples como as cartas de controlo.

Woodall e Montgomery (1999) argumentavam, ainda, que 20% dos esforços realizados até 1999 concentravam-se em problemas de otimização. Estes autores consideravam que

enquanto não houvesse uma aplicação prática dos resultados de uma investigação, seria difícil caracterizar o valor desse trabalho.

Em conclusão, os métodos preconizados pelo SPC devem adaptar-se às mudanças verificadas nos ambientes fabris, que tendem para produções de lotes cada vez mais pequenos, onde é importante a monitorização de várias características independentes em simultâneo e a existência de aplicações informáticas capazes de tratar em tempo real os dados (Woodall e Montgomery, 1999).

Foi sob esta perspetiva, apresentada por Woodall e Montgomery (1999), que se desenvolveu este trabalho, resultado de um estreito contacto com a indústria embaladora portuguesa, com o objetivo de gerar uma ferramenta de SPC (ACCEPT) que pudesse ser compreendida por “operadores” com a “4ª. Classe”.

Neste sentido, apresentam-se nas secções seguintes deste capítulo as principais técnicas estatísticas suscetíveis de serem incorporadas num sistema de controlo estatístico da “*quantidade pré-embalada*”.

3.2.3 Cartas de Controlo da Qualidade

Um dado produto para cumprir as suas especificações deverá ser produzido de uma forma estável e/ou com elevada repetibilidade, ou seja, o seu processo de produção deverá ser capaz de operar com a mínima variância em torno do valor alvo ou nominal da(s) característica(s) da qualidade a controlar. As cartas de controlo são uma das técnicas mais utilizadas para quantificar a variabilidade de um processo ao longo do tempo (Montgomery, 1997) apresentando inúmeras vantagens, nomeadamente:

- 1- São instrumentos fáceis e simples de aplicar pelos executantes, no sentido de se obter o controlo contínuo dos processos. Podem ser traçadas nos próprios locais de trabalho, dando informações rigorosas sobre os momentos em que são necessárias ações corretivas;
- 2- Desde que os processos estejam sob controlo estatístico as cartas permitem:
 - (a) prever o comportamento do processo de forma a avaliar a qualidade e custos;
 - (b) melhorar, com base na informação disponível nas cartas, os processos no sentido de reduzir a sua variabilidade, fornecendo um instrumento importante na verificação da eficácia das ações de melhoria. Tais ações podem ir no

sentido de aumentar a percentagem que satisfaz as expectativas do cliente, reduzir o número de rejeitados e sucata ou as reciclagens de fabrico com resultado na diminuição do custo unitário de produção e aumento do rendimento do processo e da capacidade efetiva de produção.

- 3- a utilização de uma linguagem simples entre os operários e os supervisores, bem como entre a organização e os seus clientes.
- 4- facultam indicações exatas sobre a oportunidade de executar ações corretivas no próprio local de trabalho ou através de decisões superiores.

Um estado de controlo perfeito nunca é atingido num processo de produção, pelo que o objetivo das cartas de controlo não é a perfeição, mas um estado de controlo razoável e económico. Se uma carta nunca esteve fora de controlo, poder-se-á inclusive questionar se essa operação deveria ser acompanhada por uma carta de controlo.

3.2.3.1 Recolha de dados: dimensão da amostra, frequência de amostragem e sub-grupos racionais

Para uma correta aplicação das cartas de controlo é fundamental a adequada seleção da frequência de recolha das amostras (h), da sua dimensão (n) e do coeficiente K que determina o nível de controlo.

A situação ideal para detetar variações num processo será recolher o maior número de amostras com uma elevada frequência, no entanto tal situação poderá não ser economicamente viável. Vejamos estes dois casos, em que no primeiro a recolha de dados é manual e resultado de três operações distintas e num segundo caso em que os valores são adquiridos automaticamente dos sistemas de medição que estão “em linha” no processo:

- 1- No controlo estatístico da quantidade de vinho pré-embalada é necessário recolher uma amostra de garrafas vazias, que geralmente constituem uma fonte de variabilidade significativa, numerá-las, pesá-las novamente cheias e determinar a massa volúmica do vinho.
- 2- O controlo estatístico da quantidade de café é realizado automaticamente através da existência de uma célula de carga que pesa todos os pacotes e que está tarada com o valor da embalagem, de variabilidade pouco significativa.

Em ambos os exemplos considera-se que os sistemas de pesagem enviam os dados diretamente para um *software* de controlo estatístico, que efetua o tratamento automático dos dados, permitindo aos responsáveis dos processos e operadores atuarem em tempo útil na correção de uma tendência não aleatória do processo.

Estas duas situações demonstram claramente que a recolha de dados estará sempre condicionada pelas limitações do processo e dos sistemas de aquisição.

De um modo geral, amostras de maior dimensão facilitarão a deteção da ocorrência de pequenos desvios no processo. Assim, na escolha do tamanho da amostra é necessário ter em conta o tamanho do desvio-padrão que pretendemos detetar (Montgomery, 1997).

Uma ideia fundamental das cartas de controlo é que as amostras devem obedecer ao princípio de “sub-grupos racionais”, ou seja, estas devem ser recolhidas de forma a maximizar a probabilidade de se detetarem causas especiais de variação entre amostras e minimizar a probabilidade de detetarem essas mesmas diferenças dentro de uma amostra. Assim, atribui-se a variação entre amostras a causas especiais e a variação dentro de uma amostra a causas aleatórias e, como tal, as amostras devem ser homogéneas (Montgomery, 1997).

Montgomery (1997) propõe dois métodos para a seleção dos sug-grupos (amostras). Um método baseia-se no tempo, ou seja, as amostras são retiradas em intervalos de tempo regulares ao longo do ciclo de produção; procura-se que dentro de cada amostra, as unidades tenham sido produzidas de forma análoga. Esta aproximação é usada quando se pretendem detetar desvios na média do processo, permitindo igualmente avaliar o seu desvio - padrão, quando se tratam de cartas de variáveis.

Um segundo método baseia-se essencialmente num plano de inspeção por amostragem, isto é, cada amostra apresenta um número de unidades que é representativo de todo o lote de produção.

De facto, se um processo oscila entre uma situação “fora de controlo” e “sob controlo”, é discutível a eficácia do primeiro método apresentado, devendo usar-se o segundo método.

Uma das práticas mais utilizadas na indústria consiste em recolher pequenas amostras (4 ou 5 unidades) em intervalos de tempo frequentes, que tenham sido produzidas sob condições semelhantes. A pequena dimensão das amostras justifica-se pelo facto de se pretender uma variação tão pequena quanto possível dentro das amostras; o número de unidades (4 ou 5 e não 2 ou 3) justifica-se porque, pelo Teorema do Limite Central, e para

grande parte das distribuições estatísticas. A distribuição de médias é aproximadamente normal para amostras com dimensão igual ou superior a 4, mesmo que os valores individuais não sigam uma distribuição normal. No entanto é de ponderar sobre a utilização de amostras de dimensão 2 ou 3 quando os testes são muito caros ou mesmo destrutivos (Montgomery, 1997).

A dimensão da amostra deverá ser aumentada (maior que 10) quando se pretende aumentar a sensibilidade das cartas de controlo, para que desvios muito pequenos na média do processo sejam detetados. Em alternativa poder-se-ão utilizar as cartas de controlo de somas acumuladas (CUSUM), ou as cartas de controlo da média móvel exponencialmente amortecida (EWMA), entre outras que são mais sensíveis a pequenas alterações.

No caso das cartas de controlo por variáveis é comum utilizar-se uma dimensão da amostra constante para o controlo estatístico amostral de uma característica. É igualmente necessário recolher pelo menos 25 amostras de 4 ou 5 itens cada, para se obterem estimativas razoáveis dos parâmetros do processo e se determinarem os limites de controlo (Montgomery, 1997)

Na fase inicial do estudo de um processo, é aconselhável retirarem-se amostras com elevada frequência, com o objetivo de verificar a estabilidade do mesmo. A frequência poderá diminuir quando se verifica que o processo se mantém estável ou se introduzem melhorias no processo (Montgomery, 1997).

O problema torna-se mais complexo quando um dos parâmetros h (frequência da amostragem), n (dimensão da amostra) e K (nível de controlo) varia. Geralmente, o parâmetro h é aquele que ao longo de uma dada produção sofre alterações no seu valor.

Inúmeros autores, citados em Tagaras (1998), dedicaram as suas investigações à otimização do funcionamento das cartas de controlo dinâmicas, nas quais existe a variação dos parâmetros h , n e/ou K durante a produção. Apesar de esses autores terem provado que o recurso a cartas de controlo adaptativas representa ganhos de desempenho e económicos face à utilização das cartas de controlo convencionas, a sua aplicabilidade na indústria é muito reduzida.

Uma forma de quantificar a frequência de amostragem (h) é através da determinação do número médio de amostras que é necessário recolher para detetar uma situação fora de controlo (*ARL - Average Run Length*) e o tempo médio necessário para a detetar (*ATS - Average Time to Signal*), caso as amostras sejam retiradas e intervalos de tempo iguais.

Para as cartas de controlo de Shewart estes parâmetros são dados por (Montgomery, 1997):

$$ARL = \frac{1}{p}; \quad ATS = ARL \times h \quad (3.1)$$

sendo p a probabilidade de um dado ponto exceder os limites de controlo e h a frequência de amostragem em horas.

O índice ARL é geralmente usado para avaliar o desempenho de uma carta de controlo. Por exemplo, para a carta de controlo da média em que os limites de controlo se distanciam da média de $\pm 3\sigma_{\bar{x}}$, a probabilidade de um ponto ultrapassar os limites de controlo é de $p=0,0027$, sendo o fator $K= 3$ equivalente a 99,73% de aceitação segundo a distribuição normal. O valor de ARL_0 será:

$$ARL_0 = \frac{1}{p} = \frac{1}{0,0027} = 370 \quad (3.2)$$

ou seja, será necessário recolher 370 amostras até que seja detetado uma variação na média do processo, o que traduz a ineficácia destas cartas de controlo, quando se usa como única regra o facto de um ponto ultrapassar os limites de controlo.

Com o objetivo de aumentar o desempenho das cartas de controlo foi apresentado, pela primeira vez no “Western Electric Handbook “ (citado em Pyzdek, 2003), um conjunto de regras que consideravam três zonas nas cartas de controlo (Figura 3.1).

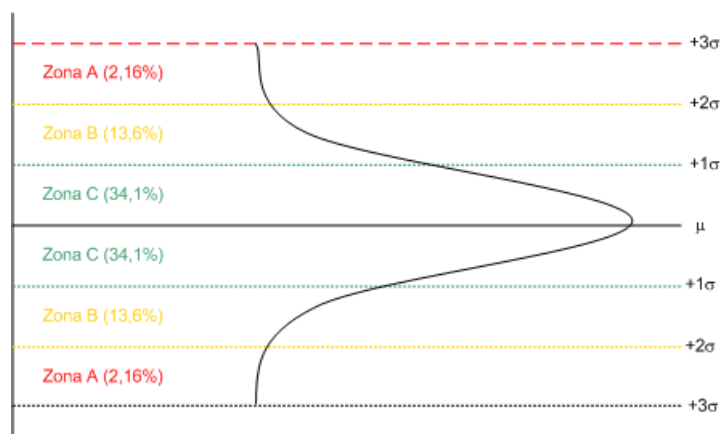


Figura 3.1-Divisão das cartas de controlo em três zonas.

A combinação destas regras aumenta a sensibilidade das cartas e consequentemente diminui a probabilidade de ocorrência de um Erro Tipo I (α), ou seja de o produtor rejeitar

lotes bons. No entanto, poderá aumentar o número de falsos alarmes o que poderá originar ajustes ou investimentos desnecessários, incrementando desta forma os custos da qualidade. Em suma, recomenda-se que a sua utilização seja cautelosa e seletiva.

Considera-se que um processo estará fora de controlo quando detetada uma destas situações:

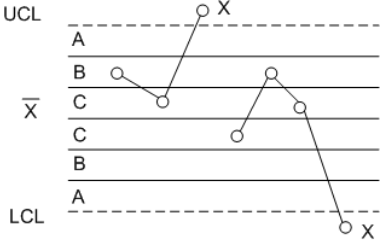
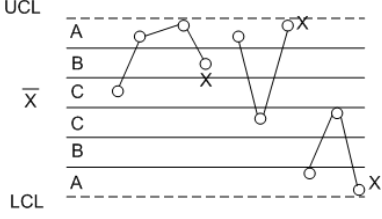
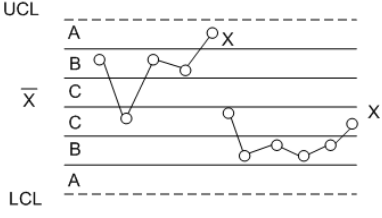
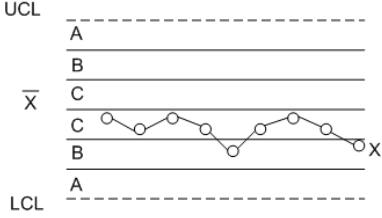
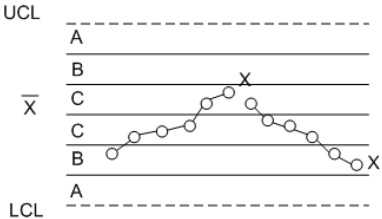
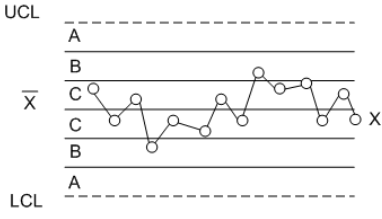
<p>Regra 1: Um ou mais pontos fora dos limites de controlo.</p>  <p>A probabilidade de ocorrer um e dois pontos fora dos limites de controlo é de 1/400 e de 1/1600 respetivamente.</p>	<p>Regra 2: Dois de três pontos consecutivos na Zona A</p>  <p>Para que um processo siga uma distribuição normal a percentagem máxima de amostras que caiem na Zona A não deverá ultrapassar as 2 amostras em 100 (2%).</p>
<p>Regra 3: Quatro de cinco pontos consecutivos na Zona B, ou além.</p>  <p>Esta situação geralmente indica uma descentragem lenta do processo ao longo do tempo.</p>	<p>Regra 4: Nove pontos consecutivos de um mesmo lado da linha central.</p>  <p>A média do processo alterou-se.</p>
<p>Regra 5: Sete ou seis pontos consecutivos crescendo ou decrescendo.</p>  <p>Uma carta de controlo baseia-se numa distribuição normal, simétrica, pelo que o número de pontos abaixo ou acima da linha central deverá ser de 50/50. Quando na carta é evidente uma tendência é possível prever onde vai cair o próximo ponto, logo causas especiais estão presente. Neste caso, a distribuição deixa de ser normal.</p>	<p>Regra 6: Catorze pontos crescendo ou decrescendo alternadamente.</p>  <p>Há uma desregulação visível na média .</p>

Figura 3.2- Regras usadas na interpretação das cartas de controlo.

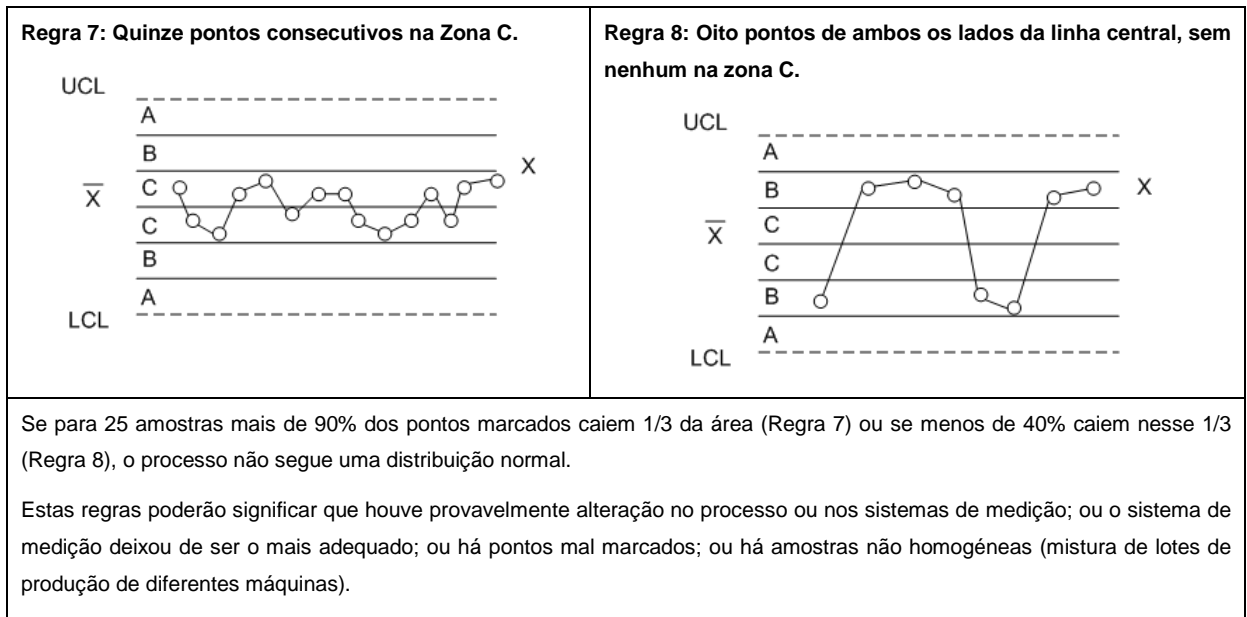


Figura 3.2- Regras usadas na interpretação das cartas de controlo (Continuação).

3.2.4 Tipos de Cartas de Controlo

Segundo Montgomery (1997) as cartas de controlo são classificadas em dois tipos:

- **Cartas de Controlo de Variáveis** que descrevem o desempenho de uma característica da qualidade que pode ser medida numa escala numérica contínua, relativamente à sua tendência central e quanto à sua variabilidade;
- **Cartas de Controlo de Atributos** que são usadas quando a característica da qualidade é avaliada numa escala qualitativa. Nestes casos, ou se classifica cada item como “conforme” ou “não conforme” perante certos atributos, ou contam-se o número de defeitos encontrados em cada item.

Sendo o âmbito do presente trabalho o controlo da variável “*quantidade pré-embalada*”, as cartas de controlo por atributos não serão abordadas.

3.2.4.1 Cartas de controlo de variáveis tradicionais

Walter Shewart propôs nos anos 20 diferentes conjuntos de cartas de controlo por variáveis com o objetivo de monitorar em simultâneo a exatidão (posição da média) e a homogeneidade (variância) dos processos de fabrico (Montgomery, 1997). Assim, têm-se:

- 1- **Cartas de controlo de médias e amplitudes ($\bar{x} - R$)**. Estas cartas são as mais utilizadas na indústria, dada a sua simplicidade de implementação e interpretação.
- 2- **Cartas de controlo de médias e desvios-padrão ($\bar{x} - s$)**. Estas cartas são preferíveis às cartas $\bar{x} - R$ quando o número de observações por amostra (n) é superior a 10 e quando n é variável (Montgomery, 1997).
- 3- **Cartas de controlo de valores individuais e amplitudes móveis ($x - MR$)**. Estas cartas são usadas quando não é possível recolher mais do que uma observação por amostra. As amplitudes calculam-se com recurso a “amostras fictícias” constituídas, geralmente, por duas observações consecutivas.
- 4- **Carta de controlo das variâncias (s^2)**. Esta carta é recomendada quando se usa um número de amostras moderadamente elevado e quando se pretende apenas controlar a variabilidade de um processo. De notar que os limites de controlo desta carta são definidos em termos probabilísticos.

No Quadro 3.1 apresentam-se a distribuição amostral, limites de controlo e estimadores dos parâmetros estatísticos do processo para os diferentes tipos de cartas de controlo por variáveis propostas por Shewhart.

Quadro 3.1- Tipos de cartas de controlo de variáveis propostas por Shewhart.

Designação	Cartas	Limites de Controlo	Parâmetros do Processo "sob controlo estatístico"		Distribuição Estatística
			Média	Desvio-Padrão	
Médias e Amplitudes de amostras	Carta \bar{x} $\bar{x}_i \sim N(\bar{\bar{x}}; \sigma_{\bar{x}})$	$LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + K\sigma_{\bar{x}}$ $LC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}}$ $LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - K\sigma_{\bar{x}}$ Para $K=3$ e $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}}$ $LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}$ $LC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}}$ $LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}$	$\bar{\bar{x}}$	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$	Normal
	Carta R $R_i \sim N(\bar{R}; \sigma_R)$	$LSC_R = \bar{R} + K\sigma_R$ $LC_R = \bar{R}$ $LIC_R = \bar{R} - K\sigma_R$ Para $K=3$ e $\sigma_R = d_3\frac{\bar{R}}{d_2}$ $LSC_R = D_4\bar{R}$ $LC_R = \bar{R}$ $LIC_R = D_3\bar{R}$			
Médias e Desvios-padrão de amostras	Carta \bar{x} $\bar{x}_i \sim N(\bar{\bar{x}}; \sigma_{\bar{x}})$	$LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + K\sigma_{\bar{x}}$ $LC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}}$ $LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - K\sigma_{\bar{x}}$ Para $K=3$ e $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\bar{s}}{c_4\sqrt{n}}$ $LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_3\bar{s}$ $LC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}}$ $LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_3\bar{s}$	$\bar{\bar{x}}$	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{c_4}$	Normal
	Carta s $s_i \sim N(\bar{s}; \sigma_s)$	$LSC_s = \bar{s} + K\sigma_s$ $LC_s = \bar{s}$ $LIC_s = \bar{s} - K\sigma_s$ Para $K=3$ e $\sigma_s = \frac{\bar{s}}{c_4}\sqrt{1-c_4^2}$ $LSC_s = B_4\bar{s}$ $LC_s = \bar{s}$ $LIC_s = B_3\bar{s}$			

Simbologia: LIC, LC e LSC- Limite inferior, central e superior de controlo; K- nível de Controlo; $\sigma_{\bar{x}}$, σ_R , σ_s Desvio-padrão da distribuição de médias de amostras, amplitudes e desvios-padrão, respetivamente; \bar{x}_i Média da amostra i; $\hat{\sigma}$, Estimativa do Desvio-padrão de um processo; $\bar{\bar{x}}$, Média das médias das amostras ou estimativa da média de um processo, \bar{R} , Média das amplitudes das amostras, \bar{s} , Média dos desvios-padrão das amostras, $A_2, A_3, B_3, B_4, c_4, d_2, D_3, d_3, D_4$ - Constante usada na construção de uma carta de controlo (Anexo C).

Quadro 3.1- Tipos de cartas de controlo de variáveis propostas por Shewhart. (continuação).

Designação	Cartas	Limites de Controlo	Parâmetros do Processo “sob controlo estatístico”		Distribuição Estatística
			Média	Desvio-Padrão	
Observações Individuais e Amplitudes Móveis	Carta x_i $x_i \sim N(\bar{x}; \sigma_x)$	$LSC_x = \bar{x} + K\sigma_x$ $LC_x = \bar{x}$ $LIC_x = \bar{x} - K\sigma_x$ Para $K=3$ e $\sigma_x = \frac{\overline{MR}}{d_2}$ $LSC_x = \bar{x} + 3\frac{\overline{MR}}{d_2}$ $LC_x = \bar{x}$ $LIC_x = \bar{x} - 3\frac{\overline{MR}}{d_2}$ Nota: O valor da constante d_2 é geralmente calculado para $n= 2$, que corresponde a amplitudes móveis de duas observações consecutivas.	\bar{x}	$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2}$	Normal
	Carta MR $MR_i \sim N(\overline{MR}; \sigma_{MR})$	$LSC_{MR} = \overline{MR} + K\sigma_{MR}$ $LC_{MR} = \overline{MR}$ $LIC_{MR} = \overline{MR} - K\sigma_{MR}$ Para $K=3$ e $\sigma_{MR} = d_3\frac{\overline{MR}}{d_2}$ $LSC_{MR} = D_4\overline{MR}$ $LC_{MR} = \overline{MR}$ $LIC_{MR} = D_3\overline{MR}$			
Variâncias	Carta s^2	$LSC_{s^2} = \frac{\bar{s}^2}{n-1} \chi^2_{\left(\frac{\alpha}{2}; n-1\right)}$ $LC_{s^2} = \bar{s}^2$ $LIC_{s^2} = \frac{\bar{s}^2}{n-1} \chi^2_{\left(1-\frac{\alpha}{2}; n-1\right)}$	-	-	Qui-Quadrado

Simbologia: LIC, LC e LSC- Limite inferior, central e superior de controlo; K- nível de Controlo; σ_x , σ_R Desvio-padrão da distribuição de médias de amostras e amplitudes, respetivamente; \bar{x}_i Média da amostra i ; $\hat{\sigma}$, Estimativa do Desvio-padrão de um processo; $\bar{\bar{x}}$, Média das médias das amostras ou estimativa da média de um processo, \overline{MR} , Média das amplitudes móveis das amostras, \bar{s} , Média dos desvios-padrão das amostras, $\chi^2_{\alpha; n-1}$ - Distribuição cumulativa do qui-quadrado para um nível de significância (α) e (n-1) graus de liberdade. d_2, D_3, D_4 - Constante usada na construção de uma carta de controlo (Anexo C).

3.2.4.2 Cartas de controlo de variáveis para “pequenas produções”

Desde a introdução das cartas de controlo de Shewhart, muitas variantes têm sido propostas, tais como as cartas de controlo recomendadas para processos de pequenas produções ou de produções de carácter essencialmente descontínuo, como são exemplo os processos de enchimento.

Entende-se por “pequena produção” aquela em que:

- O número de itens produzidos numa mesma série é cada vez mais diminuto, ocorrendo uma nova produção ao fim de um determinado tempo suficientemente distante;
- O número de artigos é elevado, embora a sua produção ocorra durante um curto espaço de tempo;
- A produção realiza-se por lotes específicos ao longo do tempo, sendo estes em número limitado.

De facto, num processo de enchimento é comum, ao longo de um dia de produção, uma constante mudança de produto, embalagem, quantidade nominal e lote de produção. Estas alterações, geralmente, não implicam variação dos parâmetros dos processos (média e variância), sendo por isso vantajosa a aplicação de cartas de controlo, por exemplo, de desvios ao valor nominal.

São assim, exemplo de cartas de controlo para pequenas produções:

- 1- **Cartas de desvios ao nominal (DNOM)** propostas por Montgomery (1997) e Farnum (1992). Estas cartas são aplicáveis apenas quando as variâncias entre os diferentes produtos, ou das “pequenas produções” não são significativamente diferentes. Existem essencialmente três métodos para avaliar esta condição: Método Empírico e Carta \bar{R} (Wheeler, 1991) exemplificados nos Quadro 3.2 e Quadro 3.3 e o teste de Bartlett abordado na secção 3.2.8.

Quadro 3.2-Valores do Fator H da Carta \bar{R} (Wheeler, 1991).

m	2	3	4	5	6	7	≥8
H	1,82	2,38	2,61	2,75	2,87	2,94	3,00

Estas cartas foram introduzidas na aplicação de controlo estatístico descrita no Capítulo 4, com o objetivo de permitir o controlo em simultâneo de produtos com diferentes quantidades nominais ou taras com diferentes massas médias.

- 2- Cartas de Controlo normalizadas (Z-W)** introduzidas por (Bothe, 1990) e Wheeler (1991) e igualmente abordadas em Farnum (1992). Estas cartas são extremamente versáteis, uma vez que permitem a comparação de valores transformados de várias características totalmente distintas, por exemplo uma massa e um comprimento. No entanto, exigem que se conheça uma estimativa do valor médio e da variância de cada característica em estudo.

Nas diversas visitas à indústria, efetuadas durante a realização do presente trabalho, constatou-se uma enorme resistência dos operadores das linhas à utilização destas cartas de controlo, uma vez não ser imediata a informação acerca do posicionamento da média do processo de enchimento face à quantidade nominal e da variabilidade dos processos. A informação disponível sobre os parâmetros dos processos era igualmente escassa.

Nos Quadro 3.3 e Quadro 3.4 apresentam-se os diferentes tipos de cartas de controlo recomendadas para processos de “pequenas produções”.

Quadro 3.3- Tipos de cartas de controlo por variáveis recomendadas para processos de pequenas produções.

Designação	Cartas	Variáveis	Limites de Controlo	Parâmetros do Processo "sob controlo estatístico"		Distribuição Estatística
				Média	Desvio-Padrão	
<p>Carta de Diferenças ao Valor Nominal (T) ou à média do processo (μ_0) e da amplitude</p> <p>Nota: Esta carta é aplicável quando as variâncias dos produtos não são significativamente diferentes.</p>	Carta \bar{x}_d	$(\bar{x}_{di})_j = (\bar{x}_i - T)_j$ $(\bar{x}_{di})_j = (\bar{x}_i - \mu_0)_j$	$LSC_{\bar{x}_d} = A_2 \bar{R}$ $LC_{\bar{x}_d} = 0$ $LIC_{\bar{x}_d} = -A_2 \bar{R}$	0	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$	Normal
	Carta R	R_i	$LSC_R = D_4 \bar{R}$ $LC_R = \bar{R}$ $LIC_R = D_3 \bar{R}$			
<p>Condições de Aplicabilidade da Norma:</p> <p>Método empírico:</p> $0,75 \leq \frac{\bar{R}_j}{\bar{R}} \leq 1,25$ em que $\bar{R}_j = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k}$			<p>Com,</p> <p>$(\bar{x}_{di})_j$ - média da amostra i para o produto j.</p> <p>\bar{R}_j - amplitude média para o produto j.</p> <p>k- n°. de amostras recolhidas da produção relativas ao produto j.</p> <p>Carta \bar{R} \bar{R}_m $LSC_{\bar{R}} = \bar{R} + \frac{H d_3}{d_2 \sqrt{k}} \bar{R}$ $\bar{R} = \frac{\sum_{j=1}^m \bar{R}_j}{m}$ - Média das amplitudes médias de cada produto j</p> <p>$LC_{\bar{R}} = \bar{R}$</p> <p>$LSC_{\bar{R}} = \bar{R} - \frac{H d_3}{d_2 \sqrt{k}} \bar{R}$</p> <p>H - Constante que depende apenas do número médias de produtos (m), dada pelo Quadro 3.2.</p> <p>m- n°. de produtos</p>			
<p>Nota: Esta carta tem por objetivo ajudar à decisão relativamente à utilização ou não da carta \bar{x}_d. Caso algum dos pontos ultrapasse os limites de controlo há evidências de que as variâncias dos produtos são estatisticamente diferentes. Este método tem, no entanto, uma reduzida aplicação prática, sendo geralmente adotado o teste de Bartlett, explicado na secção 3.2.8.</p>						
<p>Carta de Diferenças ao Valor Nominal (T) ou à média do processo (μ_0) e do desvio-padrão.</p> <p>Nota: Esta carta é aplicável quando as variâncias dos produtos não são significativamente diferentes.</p>	Carta \bar{x}_d	$(\bar{x}_{di})_j = (\bar{x}_i - T)_j$ $(\bar{x}_{di})_j = (\bar{x}_i - \mu_0)_j$	$LSC_{\bar{x}_d} = A_3 \bar{s}$ $LC_{\bar{x}_d} = 0$ $LIC_{\bar{x}_d} = -A_3 \bar{s}$	0	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{c_4}$	Normal
	Carta s	s_i	$LSC_s = B_4 \bar{s}$ $LC_s = \bar{s}$ $LIC_s = B_3 \bar{s}$			
<p>Condições de Aplicabilidade da Norma:</p> <p>Método empírico:</p> $0,75 \leq \frac{\bar{s}_j}{\bar{s}} \leq 1,25$ em que $\bar{s}_j = \frac{\sum_{i=1}^k s_i}{k}$			<p>Com,</p> <p>$(\bar{x}_{di})_j$ - média da amostra i para o produto j.</p> <p>\bar{s}_j - desvio-padrão médio para o produto j.</p> <p>k- n°. de amostras recolhidas da produção relativas ao produto j.</p>			

Simbologia: \bar{x}_d , Média da amostra dos valores individuais desviados ao nominal (T) ou à média do processo (μ_0), \bar{R} , \bar{s} Média das amplitudes e desvios-padrão, respetivamente $A_2, A_3, B_3, B_4, c_4, d_2, D_3, D_4$ - Constante usada na construção de uma carta de controlo (Anexo C).

Quadro 3.3- Tipos de cartas de controlo por variáveis recomendadas para processos de pequenas produções.(Continuação)

Designação	Cartas	Variáveis	Limites de Controlo	Parâmetros do Processo “sob controlo estatístico”		Distribuição Estatística
				Média	Desvio-Padrão	
<p>Carta de Diferenças ao Valor Nominal (T) ou à média do processo (μ_0) e da amplitude móvel.</p> <p>Nota: Esta carta é aplicável quando as variâncias dos produtos não são significativamente diferentes.</p>	Carta \bar{x}_d	$(\bar{x}_{di})_j = (\bar{x}_i - T)_j$ $(\bar{x}_{di})_j = (\bar{x}_i - \mu_0)_j$	$LSC_{\bar{x}_d} = 3/d_2 \overline{MR}$ $LC_{\bar{x}_d} = 0$ $LIC_{\bar{x}_d} = -3/d_2 \overline{MR}$	0	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{c_4}$	Normal
	Carta MR	s_i	$LSC_{MR} = D_4 \overline{MR}$ $LC_{MR} = \overline{MR}$ $LIC_{MR} = D_3 \overline{MR}$			
<p>Condições de Aplicabilidade da Norma semelhantes à da Carta da média e amplitude.</p> $\overline{MR} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{k_j} (MR_i)_j}{\sum_{j=1}^m (k_j - 1)}, \text{ quando se considera } n=2$						

Quadro 3.4- Tipos de cartas de controlo normalizadas por variáveis.

Designação	Cartas	Variáveis	Limites de Controlo	Parâmetros do Processo "sob controlo estatístico"		Distribuição Estatística
				Média	Desvio-Padrão	
2- Cartas de controlo de variáveis para processos de pequenas produções						
Carta Z e W_R	Carta Z	$(Z_i)_j = \left(\frac{\bar{x}_i - \mu_0}{\bar{R}_0} \right)_j$	$LSC_Z = A_2$ $LC_z = 0$ $LIC_z = -A_2$	0	1	Normal
	Carta W_R	$(W_{R_i})_j = \left(\frac{R_i}{\bar{R}_0} \right)_j$	$LSC_{W_R} = D_4$ $LC_{W_R} = 1$ $LIC_{W_R} = D_3$			
	Com, i= 1,...,k _j amostras para um produto j e =1,..., m produtos diferentes. $(\mu_0)_j$ - média do processo de fabrico do produto j $(\bar{R}_0)_j$ - amplitude média do processo de fabrico do produto j					
Carta Z e W_s	Carta Z	$(Z_i)_j = \left(\frac{\bar{x}_i - \mu_0}{\bar{s}_0} \right)_j$	$LSC_Z = A_3$ $LC_z = 0$ $LIC_z = -A_3$	0	1	Normal
	Carta W_s	$(W_{s_i})_j = \left(\frac{s_i}{\bar{s}_0} \right)_j$	$LSC_{W_s} = B_4$ $LC_{W_s} = 1$ $LIC_{W_s} = B_3$			
	Com, $(\bar{s}_0)_j$ - desvio-padrão médio do processo de fabrico do produto j					
Carta Z e W_{MR}	Carta Z	$(Z_i)_j = \left(\frac{\bar{x}_i - \mu_0}{\overline{MR}_0} \right)_j$	$LSC_Z = 3/d_2$ $LC_z = 0$ $LIC_z = -3/d_2$	0	1	Normal
	Carta W_{MR}	$(W_{MR_i})_j = \left(\frac{MR_i}{\overline{MR}_0} \right)_j = (Z_i - Z_{i-1})_j$	$LSC_{W_R} = D_4$ $LC_{W_R} = 1$ $LIC_{W_R} = D_3$			
	Com, $(\overline{MR}_0)_j$ - Amplitude média móvel do processo de fabrico do produto j					

3.2.4.3 Cartas de Controlo por variáveis especiais

As cartas de controlo de Shewhart tradicionais e as cartas para “pequenas produções” ignoram, de certa forma, informações da sequência de dados, não sendo portanto sensíveis a pequenas variações no processo. Contudo com a aplicação das regras enumeradas na Figura 3.2 a sensibilidade destas cartas é incrementada, com o conseqüente aumento de número de falsos alarmes. A título de exemplo, algumas dessas regras foram programadas no sistema ACCEPT, descrito no Capítulo 4, sendo emitidos alertas ao utilizador sempre que uma destas tendências não aleatórias se verifique, conjuntamente com um ecrã para comentários.

De forma a incrementar a sensibilidade das cartas de controlo surgem as chamadas cartas de controlo especiais, nomeadamente:

- 1- **Cartas de controlo de somas acumuladas (CUSUM)** inicialmente propostas por Page (1961) e posteriormente estudadas por diversos autores, em particular por, Ewan (1963), Gan (1991), Lucas (1976), Hawkins (1981) e Woodall e Adams (1993);
- 2- **Cartas de Controlo da média móvel exponencialmente amortecida (EWMA)** introduzidas por Roberts (1959) e mais tarde estudadas por Crowder (1987) e Lucas e Saccucci (1990);

Estas cartas são muito sensíveis a pequenas variações no processo, sendo portanto recomendada a sua utilização em processos de variância muito reduzida de que são exemplo a maioria das variáveis de controlo dos processos de transformações químicas.

Em virtude de a maioria dos processos de enchimento apresentar uma variabilidade significativa, tal como é possível constatar na análise aos diferentes casos práticos realizada no Capítulo 5, estas cartas não serão abordadas no presente estudo.

De notar que, desde a introdução das cartas de controlo de Shewhart, inúmeros trabalhos têm sido publicados no sentido de apresentar variantes a estas cartas, não sendo pretensão deste trabalho enumerá-las individualmente, mas sim avaliar o contributo daquelas que tiveram mais impacto na indústria e incorporá-las numa aplicação informática, adequada às necessidades da indústria embaladora.

3.2.5 Análise da Capacidade do Processo

As Cartas de Controlo evidenciam se o processo está ou não sob controlo estatístico.

Quando um processo está “sob controlo estatístico”, e só nestas condições, ou seja, quando o processo não apresenta quaisquer causas especiais de variação e a distribuição dos dados é normal, é possível estimar a capacidade desse processo de produzir de acordo com as especificações estabelecidas para o produto (Kotz e Norman, 2002).

Por exemplo, se um cliente especifica os parâmetros requeridos para um produto, o produtor deve primeiro analisar se o processo é realmente capaz de produzir dentro dessas especificações.

Se as especificações de um determinado produto forem estabelecidas sem se atender à capacidade do processo, podem ocorrer três situações:

- A. A dispersão do processo ser menor do que a tolerância entre o limite superior de especificação e o limite inferior de especificação (LSE-LIE);
- B. A dispersão do processo ser igual à tal tolerância;
- C. A dispersão do processo ser maior do que a diferença entre os limites de especificação.

Na primeira situação não se produz material defeituoso quando o processo está a funcionar corretamente e ainda há uma margem permitida de variação, tanto para a média como para a dispersão, sem que se produza material fora das especificações.

Na segunda situação não há material defeituoso enquanto o processo está centrado no valor nominal. No entanto, logo que haja uma mudança ou da média ou da dispersão, há produção de material fora das especificações e interessará saber qual(ais) a(s) causa(s) e eliminá-la(s).

A pior situação é a terceira onde, mesmo quando o processo está centrado no valor nominal, há produção fora das especificações, pois a dispersão do processo é superior à tolerância permitida. Neste último caso a resolução deste problema poderá passar por: rever os limites de especificação, inspecionar o produto a 100%, no caso de ensaios não destrutivos e diminuir a dispersão do processo por introdução de alterações, quer a nível

das matérias-primas ou peças, quer da substituição de alguma máquina ou necessidade de formação adequada de operadores, etc.

Numa perspetiva de melhoria contínua da qualidade, deve-se, sempre que possível, diminuir a dispersão do processo.

3.2.5.1 Índices da Capacidade do Processo

Estando um processo “sob controlo estatístico” é possível determinar os seus índices de capacidade. Há inúmeros índices de capacidade dos processos usados na indústria, tais como:

P_P e P_{PK}- Segundo Ming-Wei Lu e Rudy (2002) estes índices, muito utilizados na indústria automóvel são calculados num estudo preliminar de avaliação dos potenciais índices de capacidade. Estes autores recomendam que se recolha aleatoriamente do processo uma amostra com um número de itens superior a 25 (aconselhável 30) e se determine a média (\bar{x}) e o desvio-padrão (s) dessa amostra. Para 30 observações o valor de Ppk deverá ser maior ou igual a 1,67. Estes índices serão então dados por:

$$P_P = \frac{LSE - LIE}{6s} \quad (3.3)$$

$$P_{P_{ks}} = \frac{LSE - \bar{x}}{3s} \quad (3.4); \quad P_{P_{ki}} = \frac{\bar{x} - LIE}{3s} \quad (3.5) \quad \text{e} \quad P_{P_k} = \min\{P_{P_{ki}}; P_{P_{ks}}\} \quad (3.6)$$

C_P - Este índice compara a variabilidade do processo com a permitida pelas especificações, mas não informa sobre a centralidade do processo com o valor médio, sendo por isso aconselhável o cálculo dos índices Cpk superior (Cpks) e inferior (Cpki). Estes índices comparam o posicionamento da média face aos limites superior e inferior de especificação, LSE e LIE, respetivamente. Segundo Pyzdek (2003), Ming-Wei Lu e Rudy (2002), entre outros autores, o índice Cpk deverá ser maior ou igual a 1,33, o que corresponde a uma percentagem de defeituosos de 6210 ppm (Quadro 3.5).

$$C_P = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} = \frac{6\sigma_{Esp.}}{6\hat{\sigma}} = \frac{\sigma_{Esp.}}{\hat{\sigma}} \quad (3.7)$$

$$C_{P_{ks}} = \frac{LSE - \bar{\bar{x}}}{3\hat{\sigma}} \quad (3.8); \quad C_{P_{ki}} = \frac{\bar{\bar{x}} - LIE}{3\hat{\sigma}} \quad (3.9) \quad \text{e} \quad C_{P_k} = \min\{C_{P_{ki}}; C_{P_{ks}}\} \quad (3.10)$$

C_M - Este índice é geralmente utilizado para avaliar a capacidade de uma máquina. Pelo facto de o comportamento da máquina depender de diversas fontes de variação Pyzdek (2003) recomenda 8 sigma ao invés dos 6 sigma usados nos índices anteriores. Este índice deverá ser igualmente superior a 1,33 (Pyzdek, 2003).

$$C_M = \frac{LSE - LIE}{8\hat{\sigma}} = \frac{6\sigma_{Esp.}}{8\hat{\sigma}} \quad (3.11)$$

Com base na hipótese de que um processo, a longo prazo, poderá desviar-se $1,5\hat{\sigma}$, no Quadro 3.5., apresenta-se o número de partes por milhão de unidades defeituosas, em função da variância do processo (Pyzdek, 2003).

Quadro 3.5- Variância de um processo e equivalente número de partes por milhão de unidades defeituosas e índice Cpk (Pyzdek, 2003).

Variância	ppm	Cpk
$\pm 1 \hat{\sigma}$	697.672	0,33
$\pm 2 \hat{\sigma}$	308.770	0,67
$\pm 3 \hat{\sigma}$	66.811	1,00
$\pm 4 \hat{\sigma}$	6.210	1,33
$\pm 5 \hat{\sigma}$	233	1,67
$\pm 6 \hat{\sigma}$	3,4	2,00

Sendo,

$\hat{\sigma}$ - Desvio-padrão estimado do processo, calculado em função do tipo de cartas de controlo por variáveis usadas para monitorar o processo (ver Quadro 3.1, Quadro 3.3 e Quadro 3.4).

$\bar{\bar{x}}$ - Média do processo (ver Quadro 3.1, Quadro 3.3 e Quadro 3.4).

3.2.6 Nível de qualidade admissível e rejeitável

Exigir produtos 100% de acordo com o especificado, é geralmente impraticável quer do ponto de vista económico quer a nível técnico. Neste sentido, surge o Nível de Qualidade Aceitável –NQA (Acceptable Quality Level -AQL) que não é mais do que um índice de qualidade acordado entre Cliente e Fornecedor.

De notar que o NQA é uma característica do processo do fornecedor e não do plano de amostragem.

Visto do lado do produtor o NQA é o número máximo de defeitos por 100 unidades, que se considera satisfatório como média do processo.

Visto do lado do consumidor o NQA é o nível de qualidade com o qual o consumidor considera aceitável viver, ou seja, é o pior índice de qualidade para o processo do fornecedor, que o consumidor considera aceitável como média do processo.

O NQA é, então, definido tendo em consideração as possibilidades do processo produtivo e a funcionalidade e a criticidade do produto ou da característica a controlar. Por exemplo, para o caso dos produtos pré-embalados o nível de qualidade admissível é de 2,5% (OIML R87).

Em suma, escolher um NQA, implica especificar uma medida de qualidade aceitável, ou seja, é a percentagem máxima de não conformidade admissível num lote ou o número de defeitos por cada 100 unidades.

O Nível de Qualidade Rejeitável (NQR) é o índice de qualidade a não aceitar em condição alguma, caso seja encontrado no material recebido. O valor deste índice é geralmente ditado pela experiência.

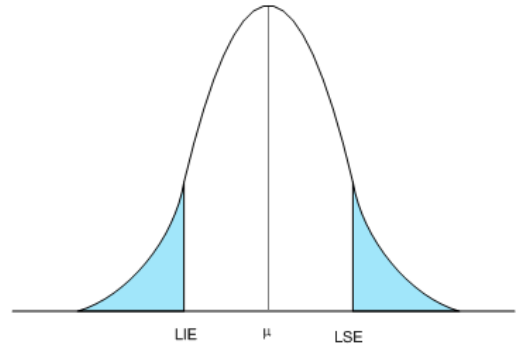
O NQA está assim associado ao erro do tipo I (risco de produtor, α) que representa a probabilidade de rejeição de um lote conforme e o NQR ao erro do tipo II (risco do consumidor, β), ou à probabilidade de aceitação de um lote não conforme. Normalmente, β toma valores entre 5 e 10%.

Torna-se importante determinar a percentagem real de defeituosos de um processo face ao cumprimento das especificações e comparar esse valor como o do NQA. Este cálculo apenas será válido caso de verifiquem os pressupostos de normalidade e independência dos dados.

3.2.6.1 Determinação da percentagem de defeituosos de um processo

Conhecendo os limites de especificação inferior (LIE) e/ou superior (LSE) de um processo e as melhores estimativas dos parâmetros do processo (média, μ e desvio-padrão, $\hat{\sigma}$) a percentagem de defeituosos, para especificações bilaterais, será dada pela expressão (3.12) e representada pela Figura 3.3 (Montgomery, 1997).

$$\begin{aligned} \% \text{ defeituosos} &= P(x \geq LSE) + P(x \leq LIE) \\ &= P\left(Z \geq \frac{LSE - \mu}{\hat{\sigma}}\right) + P\left(Z \leq \frac{\mu - LIE}{\hat{\sigma}}\right) \quad (3.12) \\ &= \phi\left(\frac{LSE - \mu}{\hat{\sigma}}\right) + 1 - \phi\left(\frac{\mu - LIE}{\hat{\sigma}}\right) \end{aligned}$$



ϕ (Z)- Função de densidade de probabilidade da distribuição normal padrão.

Figura 3.3- Distribuição normal de um processo que não é capaz de cumprir as especificações (com defeituosos).

Para especificações unilaterais:

$$\begin{aligned} \% \text{ defeituosos} &= P(x \geq LSE) \\ &= P\left(Z > \frac{LSE - \mu}{\hat{\sigma}}\right) \quad (3.13) \\ &= \phi\left(\frac{LSE - \mu}{\hat{\sigma}}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ou } \% \text{ defeituosos} &= P(x \leq LIE) \\ &= P\left(Z < \frac{LIE - \mu}{\hat{\sigma}}\right) \quad (3.14) \\ &= 1 - \phi\left(\frac{LIE - \mu}{\hat{\sigma}}\right) \end{aligned}$$

As melhores estimativas dos parâmetros do processo são apresentadas nos quadros Quadro 3.1, Quadro 3.3 e Quadro 3.4, em função do tipo de carta de controlo que está a ser utilizada.

3.2.6.2 Determinação do erro do Tipo II.

Conhecendo o erro do tipo I (α), o desvio da média do processo face ao valor desejado (δ), o número de observações por amostra (n) e o desvio-padrão do processo $\hat{\sigma}$, o erro do Tipo II (β) será dado pela expressão (3.15) (Montgomery, 1997):

$$\beta = \phi\left(\frac{Z_{\alpha/2} - \frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma}}{2}\right) - \phi\left(-\frac{Z_{\alpha/2} - \frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma}}{2}\right) \quad (3.15)$$

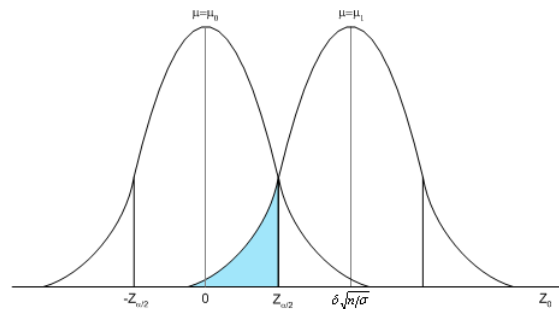


Figura 3.4- Distribuição normal de média μ_0 e μ_1 (β representa a zona a sombreado).

3.2.7 Verificação dos pressupostos de normalidade e independência

A verificação dos pressupostos de normalidade e de independência dos dados poderá ser efetuada através dos seguintes métodos:

- 1- Do traçado do gráfico dos valores individuais em função das frequências absolutas verificadas para cada classe de dados. Este gráfico é vulgarmente conhecido por histograma. Se os dados apresentarem a forma da curva Gaussiana, a distribuição poderá considerar-se normal (ver Figura 3.5 emitida pelo sistema ACCEPT).

Para construir um histograma é necessário:

- a) Calcular a amplitude máxima dos dados ($R_{\text{máx}}$);
- b) Calcular o número de classes dos dados (k). Geralmente usa-se o método recomendado por Montgomery (1997): 4 a 20 classes ou $k = \sqrt{n}$.
- c) Determinar a amplitude de cada classe = $R_{\text{máx}}/k$
- d) Contar o número de observações por cada classe (frequências absolutas)
- e) Traçado do gráfico das classes versus as frequências absolutas (Figura 3.5).

2- Gráfico de probabilidades da distribuição normal, usando o respetivo papel de probabilidades que foi desenhado para o teste de hipóteses em causa. O papel de probabilidades está disponível para as distribuições: normal, lognormal, Weibull, Chi-Quadrado e Gamma.

Para construir um gráfico de probabilidades tem-se que:

- a) Colocar por ordem crescente todos os dados
- b) Contar o nº total de dados (n)
- c) Calcular o percentil de cada dado: $p_i = \frac{j-0,5}{n}$ sendo $j = 1, \dots, n$
- d) Traçar no gráfico, desenhado no papel de Probabilidades, em abcissas os dados e em ordenadas os percentis (Figura 3.6)
- e) Se a evolução dos dados se ajustar a uma reta, o teste de hipóteses usado é o apropriado.

Quando não se dispõe de aplicações informáticas com esse tipo de escalas ou do papel, por exemplo da distribuição normal, o gráfico da distribuição normal pode ser traçado num gráfico comum, havendo unicamente a necessidade de traçar em ordenadas Z_j ao invés de

$\frac{j-0,5}{n}$, sabendo que: $\frac{j-0,5}{n} = \Phi(Z_j)$ (função de densidade de probabilidade da distribuição

distribuição normal). Por exemplo: Se $\frac{j-0,5}{n} = 0,05$, $Z_j = -1,645$.

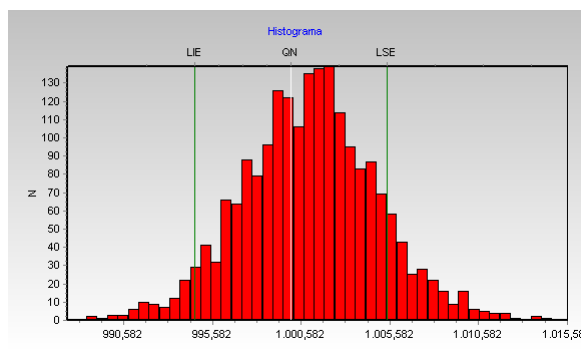


Figura 3.5- Exemplo de um histograma.

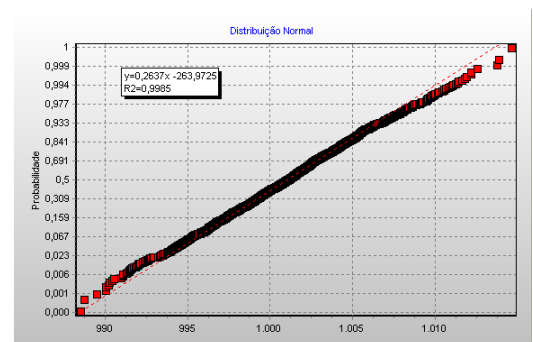


Figura 3.6- Exemplo de um gráfico de probabilidades da distribuição normal.

- 3- Gráfico dos resíduos em função do tempo**, que permite detetar se há ou não correlação entre os resíduos, isto é, se são independentes. Se os resíduos são independentes, o gráfico não deve mostrar qualquer tendência especial. Define-se um resíduo (e_{ij}) como a diferença entre o valor previsto (y_{ij}) e a estimativa desse valor (\bar{y}_i):

$$e_{ij} = y_{ij} - \bar{y}_i.$$

- 4- Gráfico dos resíduos em função dos valores previstos (estimados)**. Se o modelo é correto e os pressupostos se verificaram, esse gráfico não deve apresentar nenhuma estrutura especial. Um dos problemas que ocorre mais frequentemente é a existência de uma variância não constante. Nos casos em que a variância não é constante faz-se uma “transformação” dos dados e a Análise de Variância e as respetivas conclusões aplicam-se aos dados transformados.

3.2.8 Teste de Bartlett

O teste de hipóteses de Bartlett é muito útil na verificação do pressuposto de homocedasticidade e da heterocedasticidade, ou seja, se a variância é uniforme ou desigual entre os pontos marcados numa carta de controlo, que, geralmente, inclui dados com diferentes características (produto, quantidade nominal, embalagem, densidade, etc) (Massart e al., 1990).

Teste de Hipóteses:

$$\begin{aligned} H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_m^2 \\ H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \dots \neq \sigma_m^2 \end{aligned} \quad (3.16)$$

Estatística do Teste:

$$M = \sum_{j=1}^m (n_j - 1) \ln s^2 - \sum_{j=1}^m (n_j - 1) \ln s_j^2 \quad (3.17) \quad s_j^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (n_j - 1) s_j^2}{\sum_{j=1}^m (n_j - 1)} \quad (3.18)$$

Se $M \leq \chi_{\alpha, m-1}^2$ aceita-se a hipótese nula (H_0), ou seja não existem diferenças significativas entre as variâncias das “m” produções em análise. Sendo,

m- Nº. de produções; s_j^2 - variância da produção j ; n_j número de observações (no caso de valores individuais) ou amostras (no caso de valores médios) que constituem a produção j ; $\chi_{\alpha, m-1}^2$ Distribuição cumulativa do qui-quadrado para um nível de significância (α) e (m-1) graus de liberdade. Geralmente usa-se $\alpha=5\%$.

No capítulo seguinte é descrito o modelo de informação que serviu de base ao desenvolvimento de uma aplicação informática de controlo estatístico da *quantidade pré-embalada*.

CAPÍTULO 4 MODELO DE INFORMAÇÃO PARA O CONTROLO ESTATÍSTICO DAS QUANTIDADES DE PRODUTOS PRÉ-EMBALADOS

4.1 A Engenharia de *Software*

Hoje em dia o *software* assume um duplo papel. Ele é o produto e, ao mesmo tempo, o veículo para entrega do produto. Como produto disponibiliza o potencial de programação presente no computador ou, mais amplamente, numa rede de computadores acessível pelo *hardware* local. Quer resida num telemóvel ou num servidor, o *software* transforma a informação - produzindo, gerando, adquirindo, modificando, exibindo ou transmitindo informação, que pode ser tão simples como um único *bit* ou tão complexa como uma apresentação em multimédia. Como veículo usado para a entrega do produto o *software* age como uma base de controlo do computador (sistemas operacionais), para a comunicação de informação (redes) e para a criação e controlo de outros programas (ferramentas e ambientes de *software*). O *software* entrega então o mais importante produto da nossa época - a informação (Pressman, 2002).

A informação tornou-se, assim, a força motora da tomada de decisão nos negócios e serve de base à moderna investigação científica e às soluções de problemas de engenharia, sendo um fator chave de diferenciação de produtos e serviços (Pressman, 2002). À medida que a sua importância cresce, a comunidade de *software* tenta desenvolver tecnologias que tornem mais fácil, mais rápido e menos dispendioso construir programas de alta qualidade.

Para se entender de *software* (em última análise de engenharia de *software*), é importante examinar as características que o tornam diferente de outras coisas que os seres humanos produzem. Quando se constrói *hardware* o processo humano criativo (análise, projeto, construção e teste) é traduzido numa forma física (*chips*, placas de circuitos, etc). O *software*, por sua vez, é um elemento de um sistema lógico e não de um sistema físico. Assim, se afirma que o *software* é desenvolvido por um processo de engenharia e não é

produzido no sentido clássico. Apesar das semelhanças entre o desenvolvimento de *software* e o fabrico de *hardware*, as duas são fundamentalmente diferentes. Em ambos os casos, a qualidade é conseguida por um bom projeto, mas a fase de produção do *hardware* pode gerar problemas de qualidade, que são inexistentes (ou facilmente corrigidos) para o *software*. As duas atividades são dependentes de pessoas, mas a relação entre as pessoas envolvidas e o trabalho realizado é inteiramente diferente. Os custos do *software* são concentrados na engenharia, pelo que não podem ser geridos como se fossem projetos de fabricação (Pressman, 2002).

O *software* pode ser aplicado em qualquer situação para a qual um conjunto de procedimentos, previamente especificado, tenha sido definido. O conteúdo e a determinação da informação são, assim, fatores importantes na caracterização da natureza do *software*.

Pressman (2002) classifica de “**software de tempo real**” aquele que é capaz de monitorizar, analisar e controlar eventos do mundo real à medida que eles ocorrem. Elementos de um *software de tempo real* incluem um componente de armazenagem de dados (vulgarmente designadas por base de dados), de aquisição e formatação da informação de um ambiente externo (por exemplo: balanças), um componente de análise de dados, que transforma informação tal como exigido pela aplicação, um componente de controlo que responde ao ambiente externo e um de monitorização que coordena todos os outros componentes, de modo que a resposta em tempo real possa ser mantida.

O *software* “ACCEPT- Ajuda Computadorizada ao Controlo Estatístico de Processos” desenvolvido no âmbito deste trabalho encaixa-se, de certa forma nesta definição. Este, trata-se de uma aplicação que foi concebida para qualquer tipo de processo de enchimento e que efetua a aquisição das pesagens efetuadas nas balanças adjacentes a estes processos para um computador fisicamente próximo ou afastado do ponto da medição; realiza o tratamento de dados, através do traçado de cartas de controlo, histograma, teste de hipóteses, estudo da capacidade do processo; permite uma pesquisa dinâmica na base de dados; emite relatórios dos cálculos e gráficos efetuados sobre o valor das amostras; verifica o cumprimento dos critérios legais previstos na Portaria 1198/91 de 18 de dezembro; e alerta para a existência de falhas ou tendências não-aleatórias na produção, prevenindo a ocorrência de lotes não-conformes, entre outras funcionalidades.

Howard Baetjer (1998) comentou: “Porque o *software* é conhecimento personificado, e porque esse conhecimento está inicialmente disperso, tácito, latente e incompleto na sua totalidade, o seu desenvolvimento é um processo de aprendizagem social”.

De facto, a elaboração de um *software* é um processo iterativo de aprendizagem, e o resultado, algo que Baetjer chamaria de “essência do *software*”, é um conhecimento personificado acumulado e organizado, à medida que o processo é conduzido, sendo “Processo” sinónimo de “Engenharia de *Software*” (Fritz Bauer, 1969).

Engenharia de *software* reúne então a análise, o projeto, a construção, a verificação e a gestão de elementos técnicos (ou sociais) em resposta às seguintes questões (Pressman, 2002):

- Qual o problema a ser resolvido?
- Que características são usadas para resolver o problema?
- Como será realizada a aplicação?
- Que abordagem será usada para descobrir erros que foram cometidos no projeto e na construção da aplicação?
- Como será mantida e melhorada a aplicação a longo prazo, quando correções, adaptações e aperfeiçoamentos forem solicitados pelos utilizadores?

Assim, o trabalho associado à **engenharia de *software*** pode ser dividido em três fases genéricas independentemente da área de aplicação, do tamanho do projeto ou da sua complexidade. Cada fase focaliza uma ou mais das questões encimadas.

- A **fase de definição** concentra-se no “*quê*”. Ou seja, identifica que informação deve ser processada, que função e desempenhos são desejados, que comportamento deve ser esperado do sistema, que interfaces devem ser estabelecidos, que restrições de projeto existem e que critérios de validação são necessários para definir um sistema bem sucedido. Nesta fase, os *requisitos-chave* do sistema e do *software* são identificados através da engenharia de sistemas ou de informação, do planeamento do projeto de *software* e da análise de requisitos.
- A **fase de desenvolvimento** focaliza o “*como*”. Isto é, define como os dados devem ser estruturados, como a função deve ser implementada dentro da arquitetura do *software*, como os procedimentos devem ser implementados, como os interfaces são caracterizadas, como o projeto deve ser traduzido numa linguagem de programação e como os testes devem ser realizados. Os métodos aplicados durante esta fase variam, mas três tarefas devem ocorrer: projeto de *software*, geração de código e teste de *software*.

- A **fase de manutenção** focaliza as modificações associadas com a correção de erros e as adaptações necessárias, à medida que o ambiente de *software* evolui. Nesta fase aplicam-se novamente os passos enumerados nas *fases de definição e desenvolvimento*, mas no contexto do *software* já existente.
- Além das atividades de manutenção, os utilizadores requerem apoio contínuo, ou assistência técnica.

Estas fases são complementadas por algumas *atividades guarda-chuva*, independentes de qualquer outra atividade e que ocorrem ao longo de todo o processo e incluem:

- Acompanhamento e controlo de projeto de *software*;
- Revisões técnicas;
- Gestão da Qualidade de *software*;
- Gestão da configuração de *software*;
- Preparação e produção de documentos;
- Gestão do conhecimento (“*Lessons Learned*”);
- Medição;
- Gestão de risco.

Apesar de existirem inúmeros modelos de desenvolvimento de *software*, todos eles apresentam as fases genéricas anteriormente descritas.

A título de exemplo, o modelo de processo usado na elaboração do sistema ACCEPT pode ser caracterizado como um **ciclo de solução de problema** (Figura 4.1), no qual se identificam quatro estágios distintos: situação atual, definição do problema, desenvolvimento técnico e integração da solução. Este modelo tanto é usado a nível macro, quando toda a aplicação é considerada, num nível intermédio, quando se tratam de componentes e no nível de linha de código. Assim, na Figura 4.2 cada estágio do **ciclo de solução do problema** contém um outro *ciclo solução de problema*, e assim sucessivamente (isso continua até algum limite; para *software*, uma linha de código).

De notar que, a ideia de preconizar uma solução como o ACCEPT surgiu da constatação de uma necessidade de mercado e não de um cliente específico.

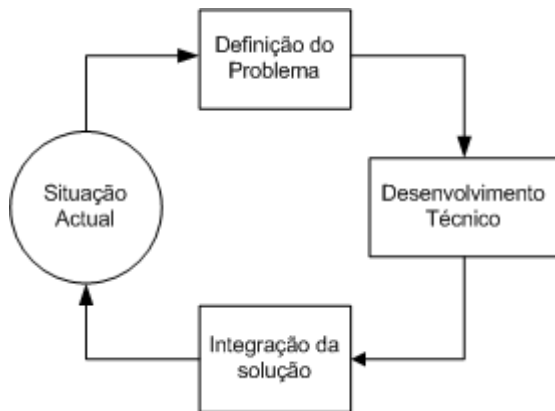


Figura 4.1- Fases do ciclo de solução de problema (Raccoon, 1995).

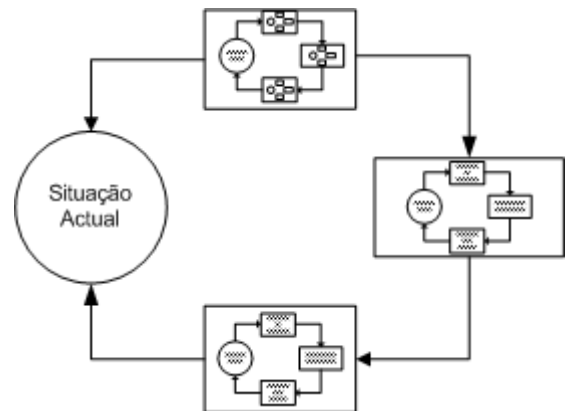


Figura 4.2- Fases dentro de fases do ciclo de solução de problemas.

Quando se trata do desenvolvimento de software à medida de um dado cliente recorre-se geralmente a um modelo de prototipagem. O paradigma da prototipagem é geralmente usado quando, por exemplo, um dado cliente define um conjunto de objetivos gerais, mas não identifica detalhadamente os requisitos da aplicação ou quando se trata de um produto inovador e o programador não tem experiência nessa tecnologia, ou ainda quando se pretende testar a aplicabilidade do sistema operacional ou da forma de interação homem/máquina. Este paradigma, ilustrado na Figura 4.3, começa com a definição de requisitos.

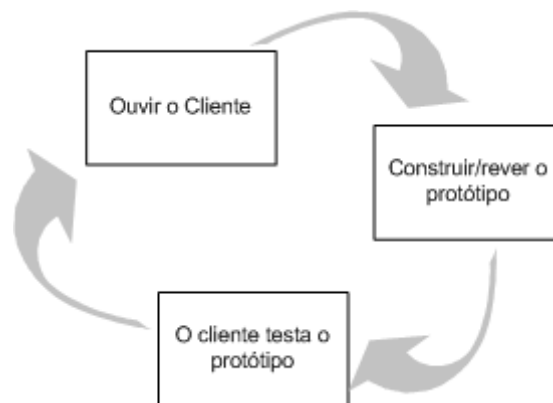


Figura 4.3- O paradigma da prototipagem.

O cliente define os objetivos gerais do *software*, identificando as necessidades. Um “protótipo” é então realizado. Este concentra-se na representação das funcionalidades do *software* que vão ficar visíveis ao cliente/utilizador (p.ex., ecrãs de configuração de dados e formatos de saída). O protótipo é avaliado pelo cliente/utilizador e usado para refinar os requisitos do *software* que será desenvolvido. Interações ocorrem à medida que o protótipo

é ajustado às necessidades do cliente, enquanto permitem ao programador uma melhor compreensão do que tem de ser feito.

Segundo Pressman (2002) o modelo de prototipagem é o mais apreciado tanto por analistas de sistemas como por clientes, pois estes têm o “sabor” do sistema real e os analistas de sistemas de construir algo no imediato. Todavia a prototipagem pode ser problemática pelas seguintes razões:

1. O cliente vê o que parece ser uma versão executável do *software* ignorando que o protótipo apenas consegue funcionar precariamente.
2. O analista de sistemas faz concessões na implementação a fim de conseguir rapidamente um protótipo executável.

Apesar deste paradigma, o importante é definir as “regras do jogo” no início, ou seja, o cliente e o analista de sistemas têm de acordar que o protótipo é construído com o objetivo de ajudar na definição de requisitos, sendo posteriormente submetido à engenharia com o objetivo de adquirir qualidade, fiabilidade e robustez.

Ao longo deste Capítulo, a atenção será focalizada apenas na *fase de definição* do âmbito da aplicação ACCEPT e nas metodologias de análise de requisitos, sendo as restantes fases da competência de um Engenheiro Informático.

4.2 Conceitos e princípios da análise de requisitos

Donald Reifer (1994) descreve o processo de **engenharia de requisitos ou do âmbito de software** como: “o uso sistemático de princípios, técnicas, linguagens e documentação que permitem uma definição clara do software e de uma estimativa do seu custo”.

A **análise de requisitos** é então o primeiro passo técnico do processo de *software* e deve focalizar os domínios funcional e comportamental do problema. Em muitos casos, não é possível especificar completamente um problema num estágio inicial, pelo que a prototipagem oferece uma abordagem alternativa que resulta num modelo não executável do *software* a partir do qual os requisitos podem ser refinados.

Geralmente, as **atividades de engenharia de requisitos** dividem-se em cinco áreas de esforço: (1) reconhecimento do problema; (2) avaliação e síntese; (3) modelação; (4) especificação e (5) revisão. Na avaliação do problema e síntese da solução o analista deve definir todos os **objetos de dados** observáveis externamente, avaliar o fluxo e o conteúdo

da informação, definir e refinar todas as funções do *software*, entender o comportamento do *software* no contexto de eventos do sistema e descobrir restrições adicionais do projeto.

O Desdobramento da função de qualidade (quality function development, QFD) consiste na construção de um conjunto de matrizes, das quais a mais utilizada é vulgarmente designada como "Casa da Qualidade" (ou matriz de planeamento). Nesta matriz, as linhas representam as necessidades dos clientes (requisitos dos clientes) e as colunas as respostas a essas necessidades. A "Casa da Qualidade" pode ainda conter outras submatrizes (ou "Quartos") que permitem aferir, por exemplo, o posicionamento relativamente à concorrência, evidenciando os aspetos a otimizar para se obter um produto ou serviço de elevado valor acrescentado.

O QFD, inicialmente desenvolvido no Japão por Yoji Akao, no estaleiro de Kobe, da Mitsubishi Heavy Industries, Ltd, durante a década de 70, é vulgarmente utilizado na engenharia de software identificando três tipos de requisitos:

- **Requisitos normais:** Objetivos e metas que são estabelecidos para o produto ou sistema durante reuniões com o cliente, tais como gráficos requeridos, funções específicas e níveis de desempenho.
- **Requisitos esperados:** Aqueles que estão tão implícitos no produto ou no sistema que podem ser tão fundamentais que o cliente não se refere a eles explicitamente, sendo a sua ausência causa de insatisfação significativa. Por exemplo: facilidade de interação com o utilizador, correção e fiabilidade, facilidade de instalação, etc.
- **Requisitos excitantes:** Características que vão além das expectativas do cliente e que mostram ser muito satisfatórias quando presentes. Por exemplo: inclusão de relatórios que não haviam sido solicitados e de opções de pesquisa, facilidades operacionais, etc.

A técnica QFD, prevê o **desdobramento de funções** para determinar o valor de cada função do sistema; o **desdobramento da informação** para identificar os objetos de dados e os eventos que o sistema deve conduzir e produzir, que por sua vez estão associados a funções; e o **desdobramento de tarefas** para examinar o comportamento do sistema ou produto dentro do contexto do seu ambiente.

Uma **análise de valor** é conduzida para determinar a prioridade dos requisitos durante cada um dos três *desdobramentos*.

Na identificação dos requisitos de um software, um QFD, geralmente contempla entrevistas com o cliente, observação, levantamento e análise dos dados históricos (Bossert, 1991).

Ao longo dos tempos, muitos métodos têm sido propostos para a **modelação da análise de requisitos**. No entanto, dois dominam atualmente: a **análise estruturada** e a **análise orientada para objetos** (Pressman, 2002). Qualquer um destes modelos contempla três objetivos principais: descrever o que o cliente exige; estabelecer a base para a criação de um projeto de *software* e definir um conjunto de requisitos que possam ser validados quando o *software* for construído. Geralmente usam-se as seguintes técnicas na modelação de requisitos:

- O **diagrama de fluxo de dados (data flow diagram, DFD)** serve para duas finalidades: fornecer indicação de como os dados são transformados à medida que se movem e mostrar as funções que transformam o fluxo de dados. Uma função apresentada no DFD é incluída numa **especificação de processos (process specification, PSPEC)**.
- O **diagrama entidade-relacionamento (entity relation diagram, ERD)** permite ao engenheiro de software especificar completamente os *objetos de dados* e mostrar as relações existentes entre eles.
- O **diagrama de transição de estados (state transition diagram, STD)** indica como o sistema se comporta em resposta a eventos externos. O STD serve de base para a modelação comportamental.
- Informação sobre o controlo do *software* é incluída na **especificação de controlo (control specification, CSPEC)**.

Foi com base nestas metodologias que se desenvolveu o processo de engenharia de requisitos do sistema ACCEPT a descrever nas secções seguintes.

4.3 Da ideia à concretização do sistema ACCEPT

A ideia de criar um sistema informático que permitisse efetuar os registos do controlo metrológico da *quantidade pré-embalada* e, ao mesmo tempo, monitorizar os processos de enchimento surgiu do estreito contacto estabelecido com a indústria embaladora portuguesa, desde 1999 até aos dias de Hoje. Constatou-se que a maioria das empresas não detinham qualquer sistema informático de registo e controlo de processos. Noutros

casos, dominava o *software FreeWeigh* e o *software CONEQ* das empresas Mettler Toledo e Intersis, respetivamente.

O sistema *FreeWeigh* usa uma rede de cablagem específica e geralmente é constituído por apenas um computador ao qual estão ligadas as várias balanças onde os operadores efetuam as suas pesagens. Os operadores comunicam com a balança que tem de ser obrigatoriamente da marca Mettler Toledo e com comunicação biunívoca. Na balança visualizam os valores das pesagens e o valor médio acumulado.

O sistema *CONEQ* funciona na rede Ethernet e comunica com qualquer marca de balanças. Junto a cada balança existe um computador com o *software CONEQ* que adquire os dados das balanças e os trata estatisticamente com recurso a uma série de ferramentas, tais como as cartas de controlo, histograma, estudos de capacidade, etc. Entretanto, em meados de 2001 a empresa Intersis deixou de desenvolver e comercializar este produto, vendo-se os seus utilizadores obrigados a converterem os seus sistemas de controlo.

Nalgumas empresas foram desenvolvidos, pelos próprios, sistemas que integram macros do *Microsoft Excel*, ou ferramentas de uma *software* de estatística, como por exemplo o *Statistics*.

A nível do mercado internacional, são inúmeros os sistemas de *software* propostos por empresas, principalmente americanas, para o controlo estatístico de processos. Por exemplo, destacam-se os sistemas: *NWA Quality Analyst* da Northwest Analytical, Inc. e *InfinityQS* da InfinityQS International, altamente robustos e completos na oferta que apresentam, mas contudo demasiado complexos e generalistas para serem aplicados no controlo da *quantidade pré-embalada*.

Os sistemas descritos anteriormente, exceto o *CONEQ*, apresentavam como graves limitações o facto de serem em língua inglesa e de não permitirem simples adaptações à medida, para além de imporem um *modus operandi* específico, nem sempre funcional e de valor acrescentado para a empresa embaladora.

Neste contexto, no ano de 2000, é proposto, pela autora do presente trabalho ao Laboratório de Informática e Sistemas do Instituto Pedro Nunes, o desenvolvimento informático de uma aplicação de controlo estatístico de processos de enchimento, mais tarde batizada de *ACCEPT*. Atualmente, este *software* é da propriedade da empresa *SINMETRO Lda*, fundada em fevereiro de 2002, pelos mentores deste sistema.

O processo de engenharia do *software* ACCEPT iniciou-se com a elaboração de um documento de especificações técnicas, operacionais e funcionais, apresentado no presente Capítulo deste trabalho, seguida da conceção de um protótipo e posterior desenvolvimento com a geração de código. A aplicabilidade do sistema foi validada em ambiente real, tendo-se posteriormente realizado as respetivas correções. O processo de desenvolvimento desta aplicação prolongou-se por um ano, verificando-se a primeira instalação em agosto de 2001. Tratando-se de uma aplicação de carácter abrangente para o controlo estatístico da *quantidade pré-embalada* em um qualquer processo de enchimento, este sistema tem sofrido, desde a sua conceção inicial, constantes melhoramentos, em resposta a necessidades do mercado constatadas pelos seus mentores ou a sugestões dos seus utilizadores, principalmente no que respeita ao interface utilizador/*software* que se pretende amigável, simples, robusta e fiável.

No seu desenvolvimento houve a preocupação de o diferenciar pela sua versatilidade, simplicidade, fiabilidade e principalmente pelo valor que acrescenta a um dado processo industrial.

4.4 Requisitos do sistema ACCEPT

Recorrendo à técnica de *desdobramento da função de qualidade (QFD)* iniciou-se o *processo de engenharia de requisitos* com a definição dos requisitos normais, esperados e excitantes do sistema ACCEPT.

Como **requisitos normais** identificaram-se essencialmente:

- Gestão de utilizadores;
- Configuração dos dados de entrada, monitorização e caracterização dos processos (linhas, balanças, produtos, fornecedores de embalagens, turnos, comentários, sistema) de um modo generalista.
- Controlo por processos;
- Aquisição de dados de qualquer tipo e marca de balança estática (geralmente adjacentes às linhas de enchimento) ou dinâmica (sob a linha de enchimento);
- Controlo de um número ilimitado de linhas de enchimento e balanças, para as quais poderá ser criado um ou mais processos (ver Figura 4.4);

- Traçado das cartas de controlo da qualidade, histogramas, gráfico da distribuição normal e análise da capacidade do processo em tempo real, ou com base na seleção de um período de tempo que se pretende analisar;
- Motor de pesquisa de dados;
- Impressão de todos os ecrãs de entrada, visualização e tratamento de dados;
- Exportação de dados para o programa *Microsoft Excel*©.

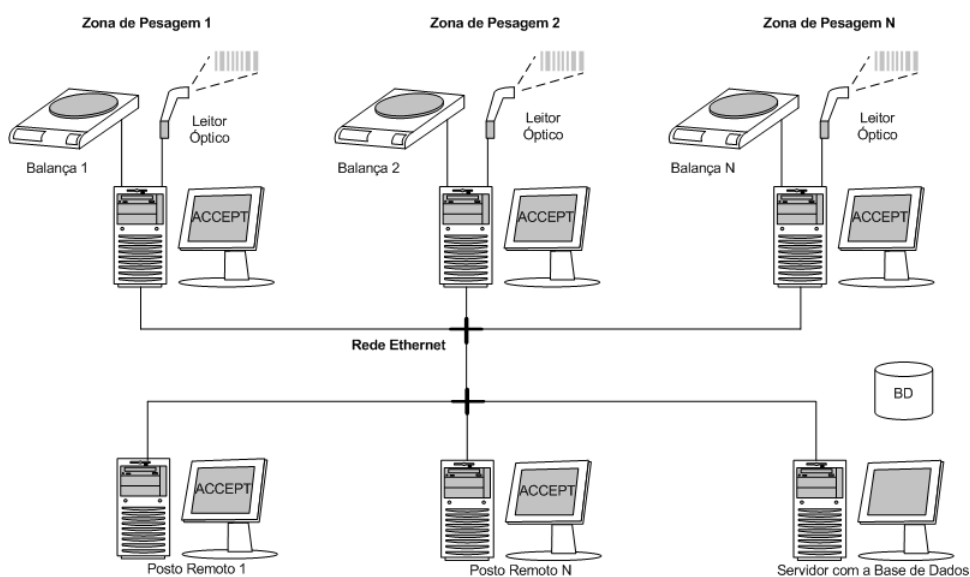


Figura 4.4- Exemplo de funcionamento do sistema ACCEPT na indústria embaladora.

Como **requisitos esperados** estabeleceram-se:

- Conceção em língua portuguesa;
- Utilização de leitores óticos (ver Figura 4.4) para evitar erros de identificação dos produtos a controlar e envio de dados da balança para o computador;
- Correção de valores mal introduzidos;
- Grelha de introdução de dados;
- Utilização de teclas de comando para acesso aos diferentes ecrãs do ACCEPT©, minimizando o recurso ao “rato”;
- Mostrar alertas de tendências não aleatórias no processo;

- Plano de segurança para a criação de cópias e recuperação de falhas quando o sistema é abruptamente desligado, por exemplo, por falha de energia;
- Emissão de avisos de campos por preencher, de valores absurdos ou de procedimentos incorretos.

Como **requisitos excitantes** enumeram-se:

- Verificação dos requisitos legais em tempo real, ou num período de tempo;
- Recurso a ecrãs tácteis;
- Inclusão contínua de novas ferramentas estatísticas de apoio à decisão;
- Cálculo dos custos imputados aos processos em função da quantidade em excesso e/ou da percentagem de produto defeituoso;
- Controlo bico a bico;
- Geração de relatórios por carta, lote de produção ou por um período de tempo;
- Utilização de ícones para, por exemplo, ativar ou desativar ligações entre o computador e a balança e entre o computador e a base de dados.

Foi usado o **diagrama entidade-relacionamento (entity relation diagram, ERD)** para especificar os **objetos de dados** que são entradas ou saídas do sistema, os **atributos** que definem as propriedades desses objetos e suas **relações**.

Um **objeto de dados** é uma representação de quase toda a informação composta do software e que tem várias propriedades ou atributos distintos, como por exemplo: uma entidade externa (algo que produza ou consuma informação: balança), uma coisa (relatório ou ecrã), uma ocorrência (amostra), um evento (um alerta), um papel (operador), uma unidade organizacional (secção de enchimento), um lugar (linha), ou uma estrutura (arquivo). Os *Objetos de dados* relacionam-se entre si (Pressman, 2002).

Os **atributos** definem as propriedades dos objetos de dados e assumem uma de três destas características: usados para nomear um exemplo do *objeto de dados*; descrever o objeto de dados ou descrever o exemplo (Pressman, 2002).

Na Figura 4.5 são apresentados os **objetos de dados** genéricos e sua hierarquização no sistema ACCEPT©, com a indicação das relações entre eles.

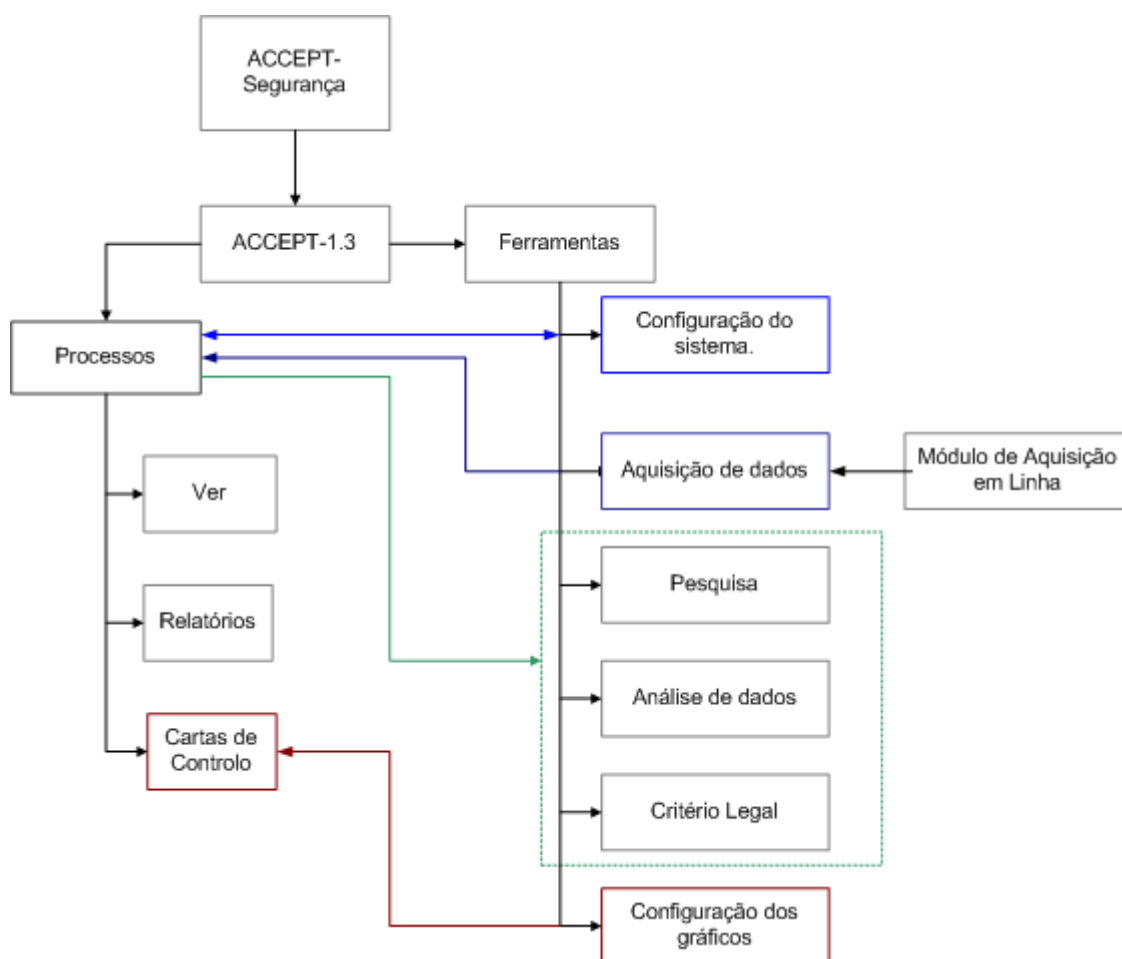


Figura 4.5- *Objetos de dados e respetivas conexões do sistema ACCEPT*©.

Na Figura 4.6 apresenta-se um exemplo dos **objetos de dados associados** ao *objeto de dado genérico*: “ Configuração do sistema” com a ilustração dos respetivos ecrãs de atributos.

Objeto de Dados: Configuração do sistema

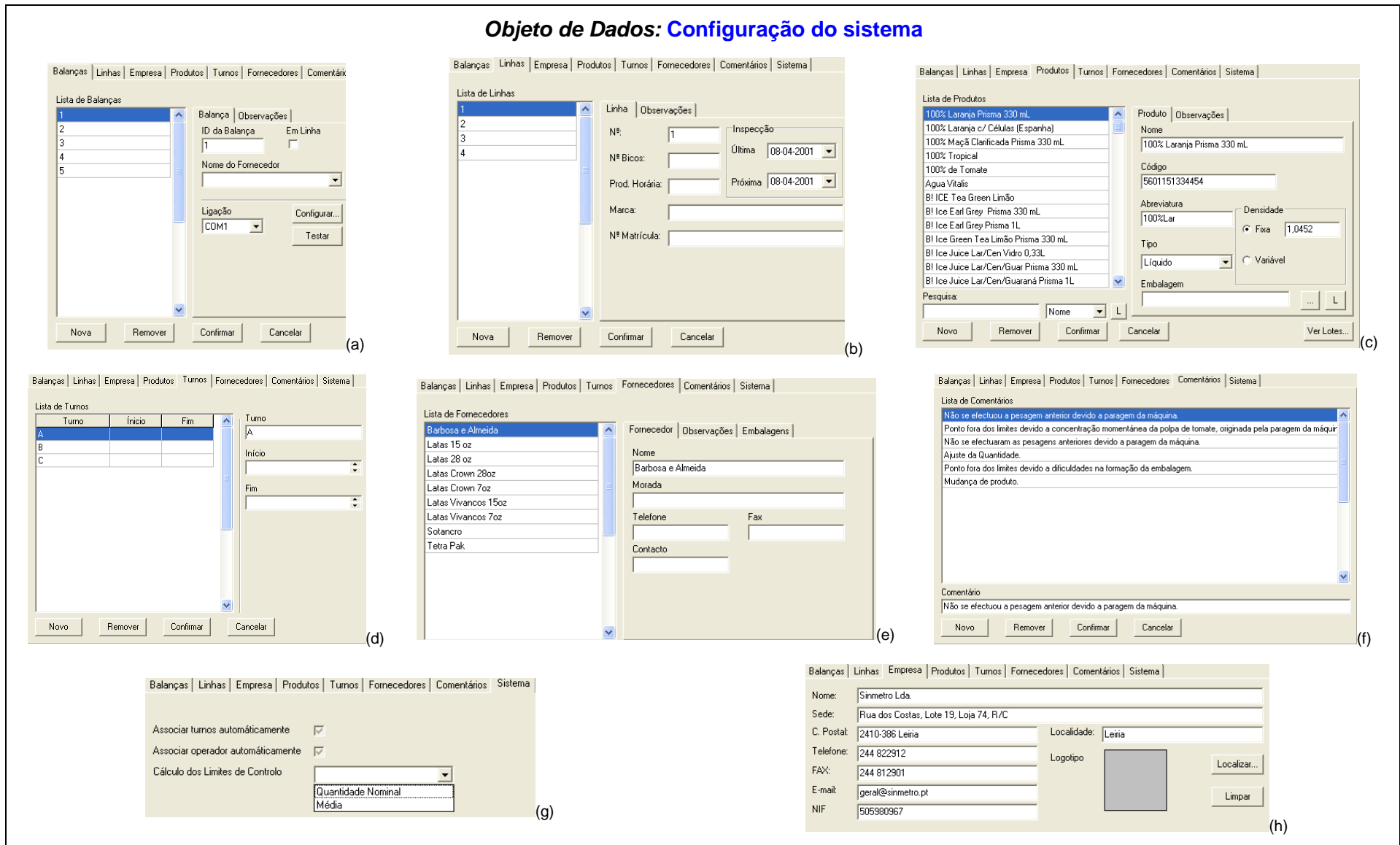


Figura 4.6- Objetos associados à configuração do sistema: (a) Balanças, (b) linhas, (c) produtos, (d) turnos, (e) fornecedores, (f) comentários, (g) Sistema e (h) dados da empresa.

O fluxo das informações e das transformações foi sistematizado através de um **diagrama de fluxo de dados (DFD)**. Este diagrama pode ser usado para representar um sistema ou software num qualquer nível de abstração. De facto, cada DFD pode estar associado a outro DFD de um nível de abstração mais detalhado. Assim, o DFD serve de base à modelação funcional e de fluxo de informação. Um **DFD 0** (Zero), também designado de **modelo fundamental do sistema ou modelo de contexto**, representa todo o elemento do software num único “círculo”, com dados de entrada e saída, indicados por setas. Processos (“círculos”) e caminhos de fluxo são representados à medida que o **DFD 0** vai sendo detalhado. No entanto, esta notação não é, em si, suficiente para descrever os requisitos do software, devendo ser acompanhada de um texto descritivo que representa uma **especificação do processo**. Esta descreve a entrada de uma função, o algoritmo que é aplicado na transformação e a saída que é produzida, bem como as limitações impostas ao processo (função), as características de desempenho que são relevantes para a realização do processo e as restrições do projeto que podem influenciar o modo pelo qual o processo está a ser implementado.

Ward e Mellor (1985) estendem o âmbito desta notação no sentido de englobar os requisitos impostos por um sistema de tempo real, propondo uma notação que diferencie os dados discretos (por exemplo: configuração dos produtos, fornecedores, balanças, etc) de dados contínuos (por exemplo: valores das pesagens enviados diretamente das balanças adjacentes à linha ou sob a linha). A seta com dupla ponta representa o fluxo de dados contínuos no tempo e a seta com uma única ponta o fluxo de dados discretos.

No entanto, uma grande variedade de aplicações é “conduzida” por eventos ao invés de dados, produzindo informação de controlo em vez de relatórios ou imagens, com grande preocupação de tempo e desempenho. Tais aplicações requerem o recurso à **modelação de fluxo de controlo** além da **modelação dos dados**.

Na *engenharia de requisitos* do sistema ACCEPT considerou-se apenas o modelo de fluxo de dados, uma vez que este efetua a aquisição de dados das balanças e emite ecrãs e relatórios desses dados, mas não exerce qualquer função de controlo sobre, por exemplo, o ajuste da doseadora ou de qualquer outra variável de processo.

Na Figura 4.7 apresenta-se o DFD de nível 0 traçado para o ACCEPT 1.3..

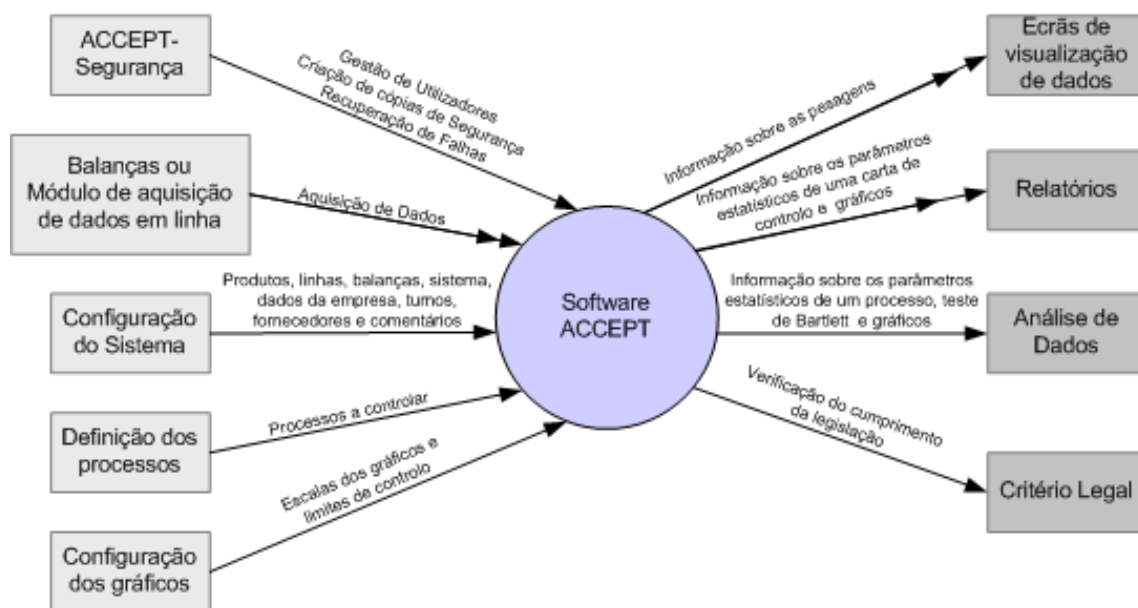


Figura 4.7- DFD de nível 0 para o ACCEPT 1.3.

O **diagrama entidade - relacionamento (ERD)** é uma das ferramentas mais utilizadas e fornece um mecanismo para a representação da associação entre objetos. Cada um desses pares objeto/relacionamento foi analisado para determinar **cardinalidade** e **modalidade**.

Nesta secção apresentam-se alguns exemplos dos principais relacionamentos entre objetos do sistema ACCEPT. De notar que, o sistema foi desenvolvido com o objetivo de emitir informações de erro sempre que um “relacionamento” seja violado. Por exemplo: quando se cria um processo, este tem de ter pelos menos um produto e um fornecedor, caso contrário o sistema não permite avançar.

A **Cardinalidade** é a especificação do número de ocorrências de um objeto que pode ser relacionado com o número de ocorrências de outro objeto, sendo geralmente expressa como “um para um (1:1)” ou “um para muitos (1:N)” (Tillmann, 1993).

A **modalidade** é 0 (zero) se não há necessidade explícita de um relacionamento ocorrer ou se o relacionamento é opcional. A modalidade é 1 (um) se a ocorrência do relacionamento for obrigatória (Pressman, 2002). Para cada objeto foram identificados os seus atributos.

Nas Figura 4.8 a Figura 4.11 exemplificam-se os relacionamentos, cardinalidade e modalidade entre os *objetos de dados* “ACCEPT Segurança e ACCEPT 1.3” e “configuração do sistema” e “processos”.

O ACCEPT - segurança trata-se de um módulo isolado onde o administrador do sistema define perfis de acesso de grupo de utilizadores ou utilizadores, pode criar ou restaurar cópias de segurança e recuperar falhas.

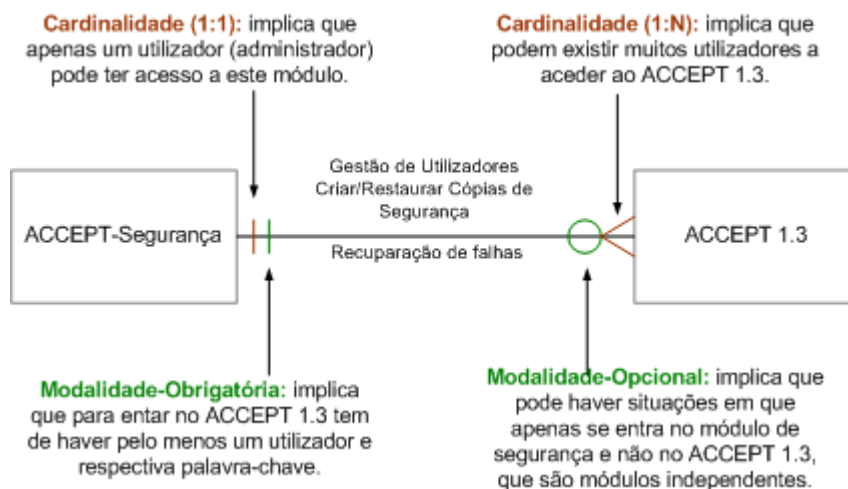


Figura 4.8-Diagrama ERD dos objetos: ACCEPT-segurança e ACCEPT1.3.

Antes de dar início ao controlo estatístico da *quantidade pré-embalada* com recurso ao ACCEPT, através da criação dos vários processos (geralmente associa-se um processo a uma máquina e quantidade nominal), o utilizador (administrador) tem de configurar o *software*, com a identificação dos produtos embalados; fornecedores de embalagens; balanças acopladas ao sistema (estáticas ou dinâmica); linhas de enchimento; turnos; comentários e parâmetros do sistema; sendo os relacionamentos entre estas entidades demonstrados nas Figura 4.9 a Figura 4.11.

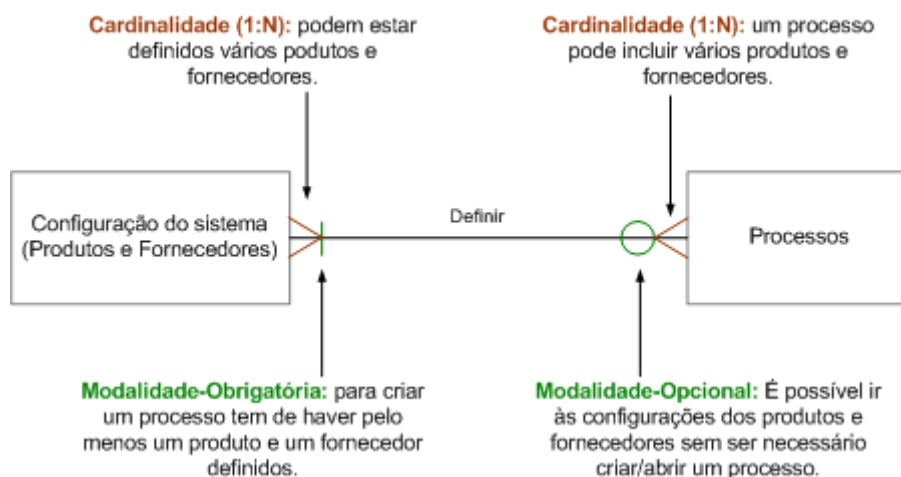


Figura 4.9- Diagrama ERD dos objetos: Produtos e Fornecedores e Processos.

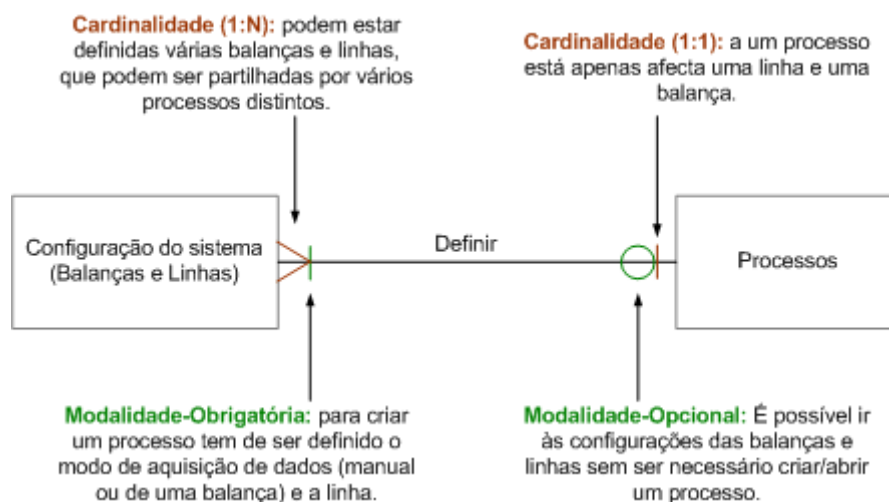


Figura 4.10- Diagrama ERD dos objetos: Balanças e Linhas e Processos.

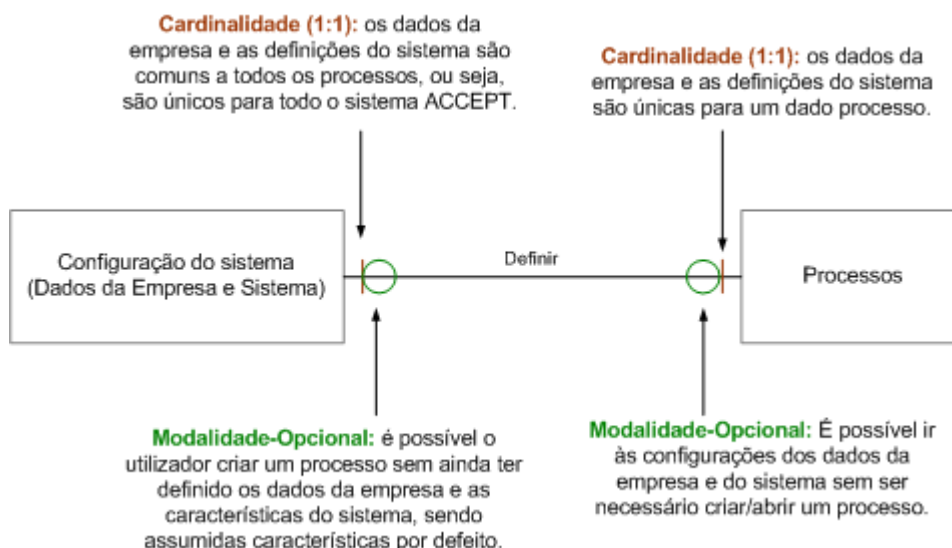


Figura 4.11- Diagrama ERD dos objetos: Dados da Empresa e Sistema e Processos.

Assim que criado um processo, o utilizador inicia a **configuração de uma amostra** (Figura 4.12), com a identificação do produto a controlar, lote de produção, densidade (caso se trate de um produto líquido), fornecedor e tipo de embalagem (podem existir vários tipos de embalagem para um mesmo fornecedor).

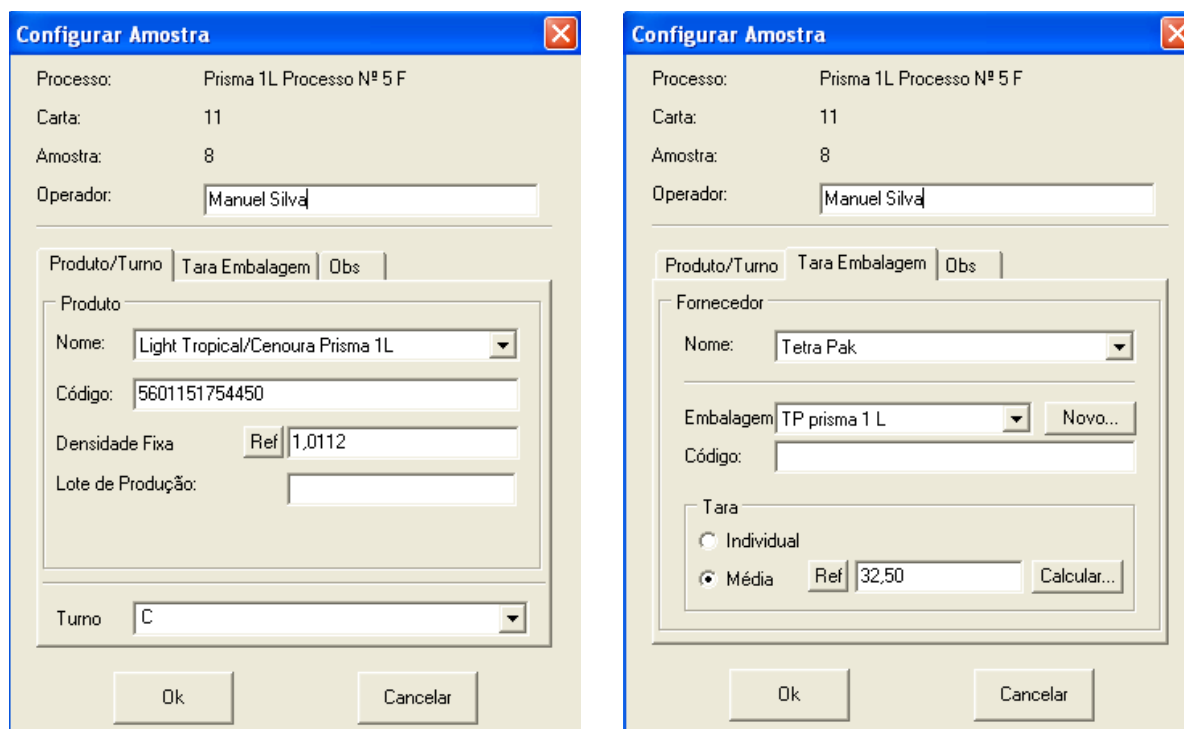


Figura 4.12- Ecrã de configuração de uma amostra para posterior recolha de dados.

Nas Figuras 4.13 e a Figura 4.17 exemplificam-se o relacionamento, cardinalidade e modalidade entre a “amostra” e outros objetos, tais como: “processos”; “Comentários”; “turno/operador/lote de produção e “Produto/fornecedor/embalagem” e “fornecedor e embalagem”.

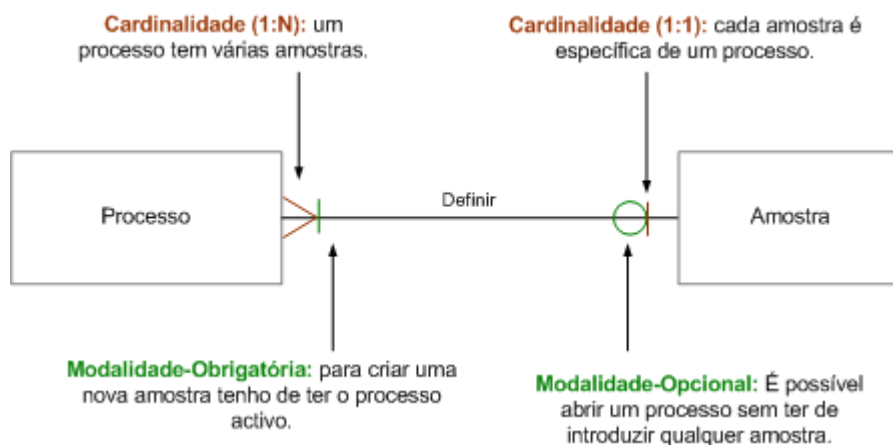


Figura 4.13- Diagrama ERD dos objetos: “Processo e Amostra”

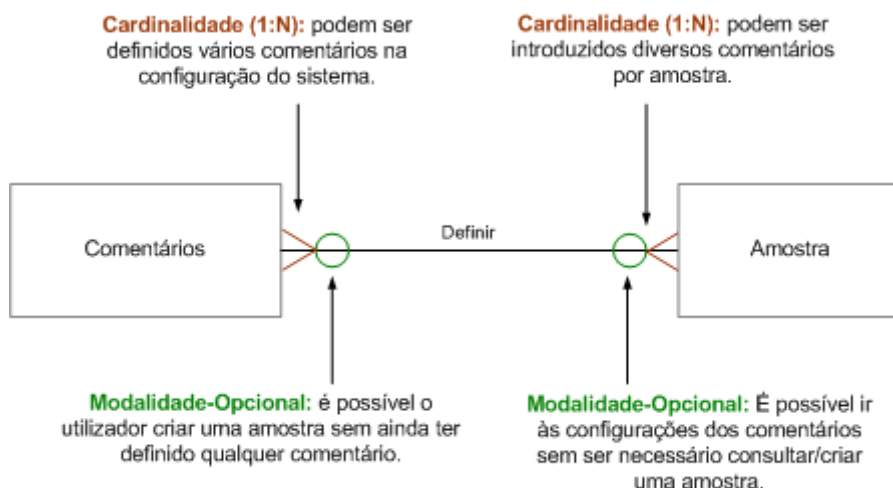


Figura 4.14- Diagrama ERD dos objetos: “Comentários e Amostra”

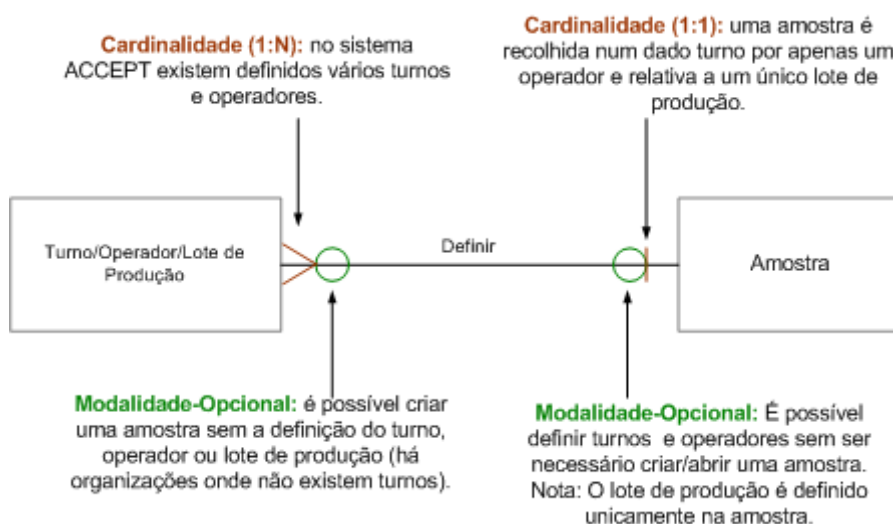


Figura 4.15- Diagrama ERD dos objetos: “Turno/operador/lote de Produção e Amostra”

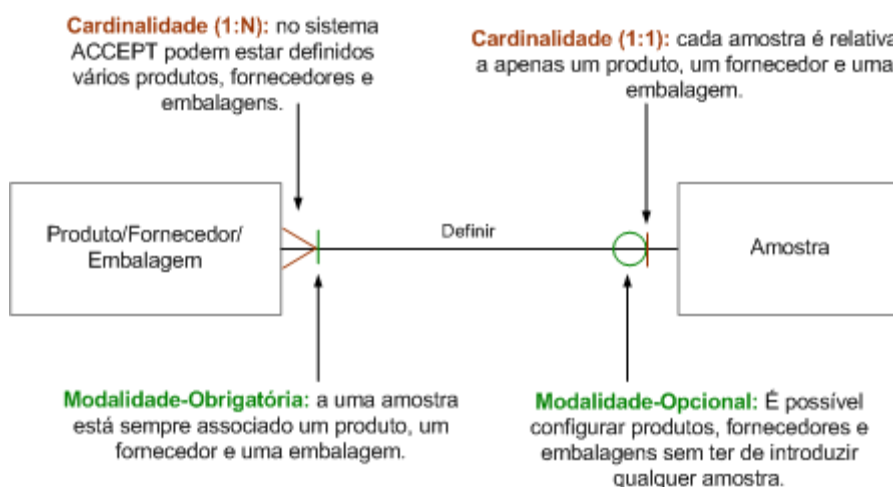


Figura 4.16- Diagrama ERD dos objetos: “Produto/fornecedor/embalagem e Amostra”

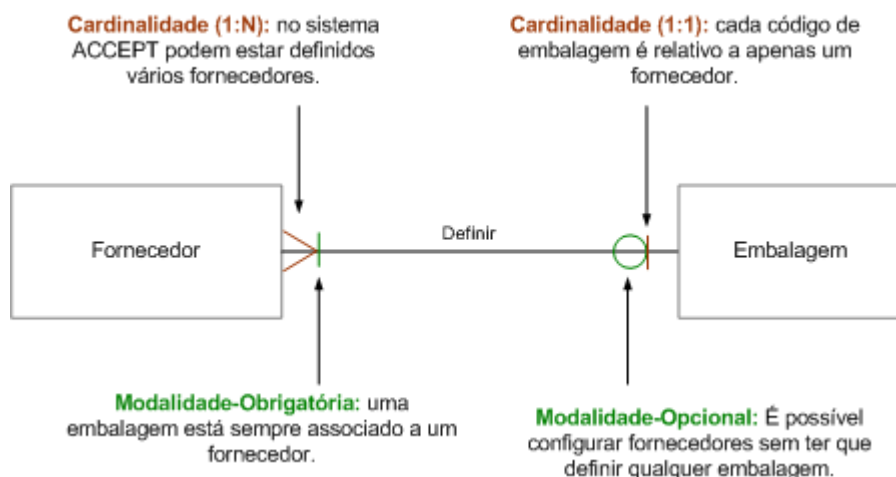


Figura 4.17- Diagrama ERD dos objetos: “Fornecedor e Embalagem”

Dá-se início à **aquisição de dados**, através do *objeto de dados*: “Envia Valor”, no caso de a balança estar adjacente à linha (Figura 4.18 (a) e (b)) ou diretamente do módulo “Aquisição em Linha” (Figura 4.18 (c) e (d)).

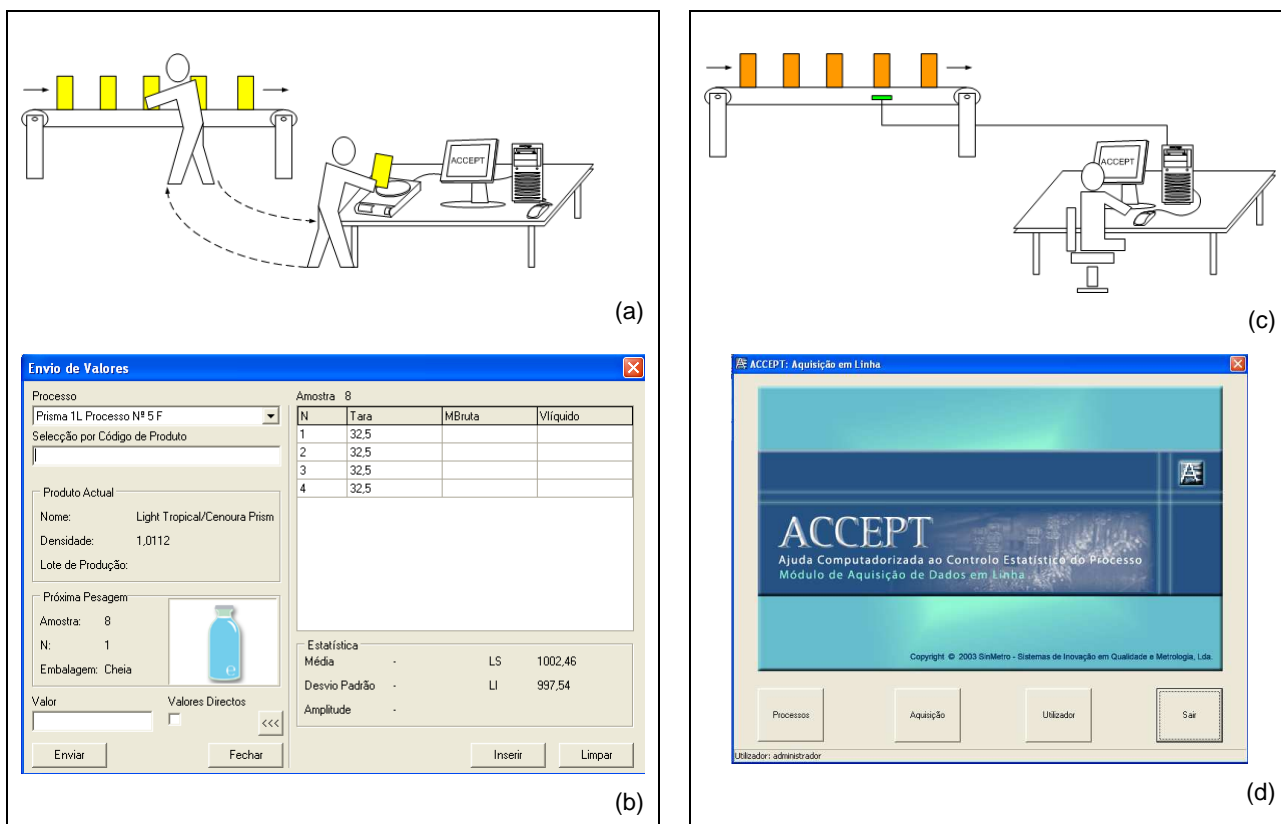


Figura 4.18- *Modus Operandi* e ecrãs da aquisição de dados através de balança adjacente à linha (a e b) e sob a linha (c e d), respetivamente.

O ecrã “Envia Valor” (Figura 4.18 (b)) é usado para selecionar o processo para onde os dados das pesagens vão ser enviados (pois podem existir vários processos abertos ao mesmo tempo num único computador) e como filtro de verificação dos dados para evitar enganos (é comum o envio de uma pesagem de um pacote de litro para o processo de 200 mL). Estes enganos geralmente ocorrem nos casos em que o cliente não tem leitores óticos, ou quando um mesmo produto está a ser embalado ao mesmo tempo em duas máquinas diferentes. No caso das linhas Tetra Pak de litro, a descrever na secção 5.5, é comum criar-se um processo para o controlo dos pacotes oriundos da mandíbula da direita (MD) e outro para a mandíbula da esquerda (ME) (por exemplo têm-se os processos: “Linha 1 -MD - Litro” e “Linha 2- ME- Litro”). Nesta situação, o ecrã “envia valor” é importantíssimo em termos operacionais para evitar erros de introdução de dados.

Na **aquisição em linha** (Figura 4.18 (c) e (d)) o utilizador tem apenas de ter o cuidado de, na **amostra**, identificar corretamente o produto que está a ser embalado, sendo o processo de aquisição de dados totalmente automático.

À medida que os dados vão sendo introduzidos no ACCEPT, quer manualmente, quer diretamente a partir de balanças, que podem estar adjacentes às linhas ou sob a linha, é possível **ver** uma série de ecrãs, **relatórios** e **gráficos** associados a cada **carta de controlo** (Figura 4.19 e Figura 4.20-(a), (b), (c) e (d)).

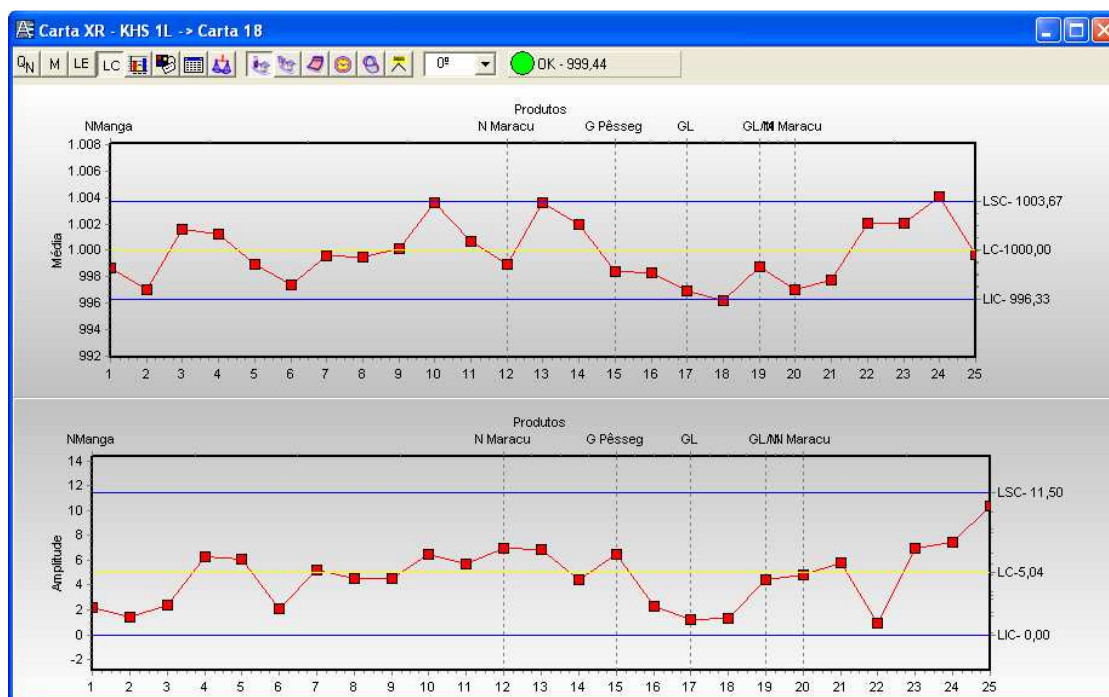
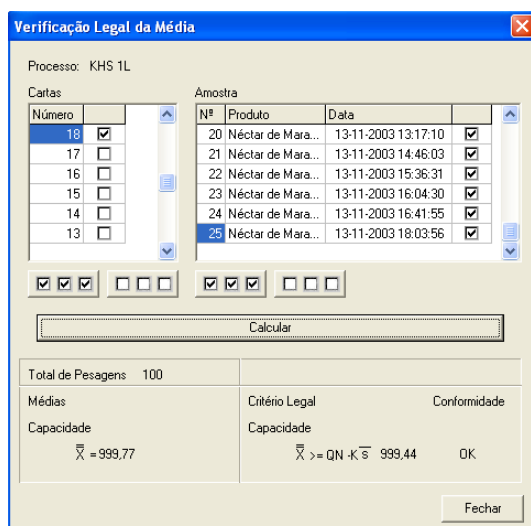
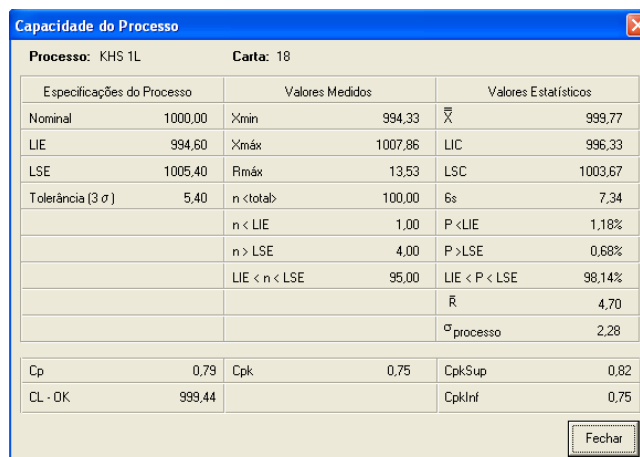


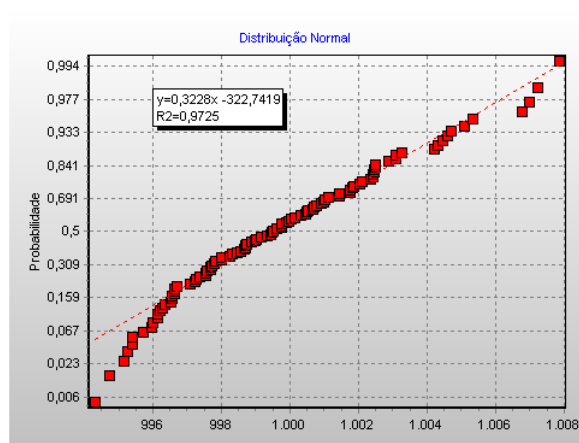
Figura 4.19- Carta de controlo nº. 18 do processo KHS 1L (Caso prático nº. 1).



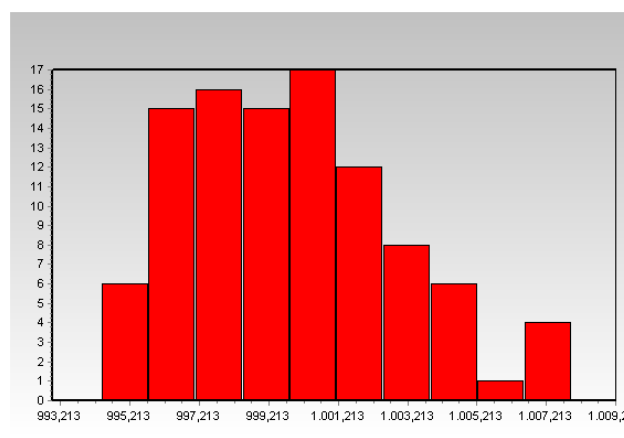
(a)



(b)



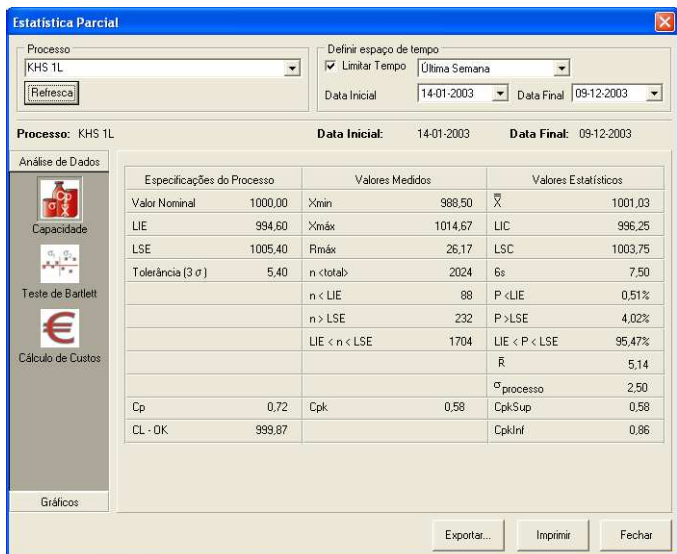
(c)



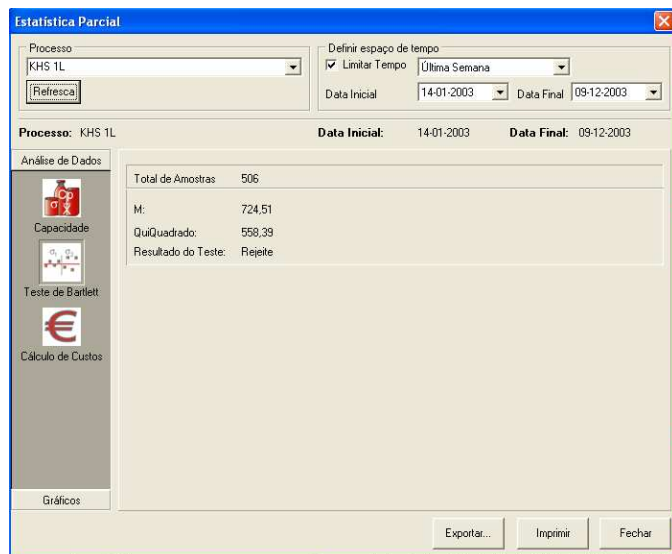
(d)

Figura 4.20- (a) Verificação legal da média; (b) parâmetros estatísticos; (c) gráfico da distribuição normal; e (d) histograma da carta de controlo nº. 18 do processo KHS 1L (Caso prático nº. 1).

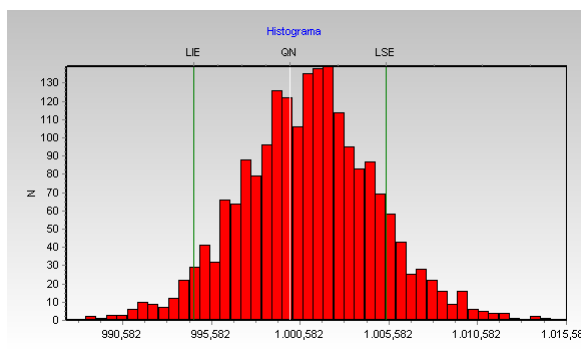
A qualquer altura o utilizador pode efetuar uma **análise de dados**, num determinado período de tempo (Figura 4.21) com o **estudo da capacidade do processo** (Figura 4.21 (a)), **teste de Bartlett** para verificar se existem diferenças entre as amostras (Figura 4.21 (b)), o traçado do **histograma** (Figura 4.21 (c)) e do **gráfico da distribuição normal** (Figura 4.21 (d)), para a validação do pressuposto de normalidade dos dados.



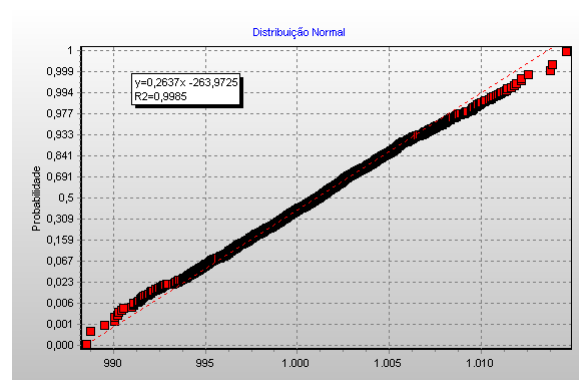
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.21- Análise do Processo KHS 1L (Caso prático n. 1) desde 14-01-03 a 09-12-03 através dos parâmetros estatísticos (a), Teste de Bartlett (b), histograma (c) e gráfico da distribuição normal (d).

O utilizador dispõe de um ecrã de pesquisa orientada por objetos (Figura 4.22), por exemplo, selecionando um ou mais dos filtros: processo, intervalo de tempo, produto, lote de produção, fornecedor, operador, amostra e data da amostra.

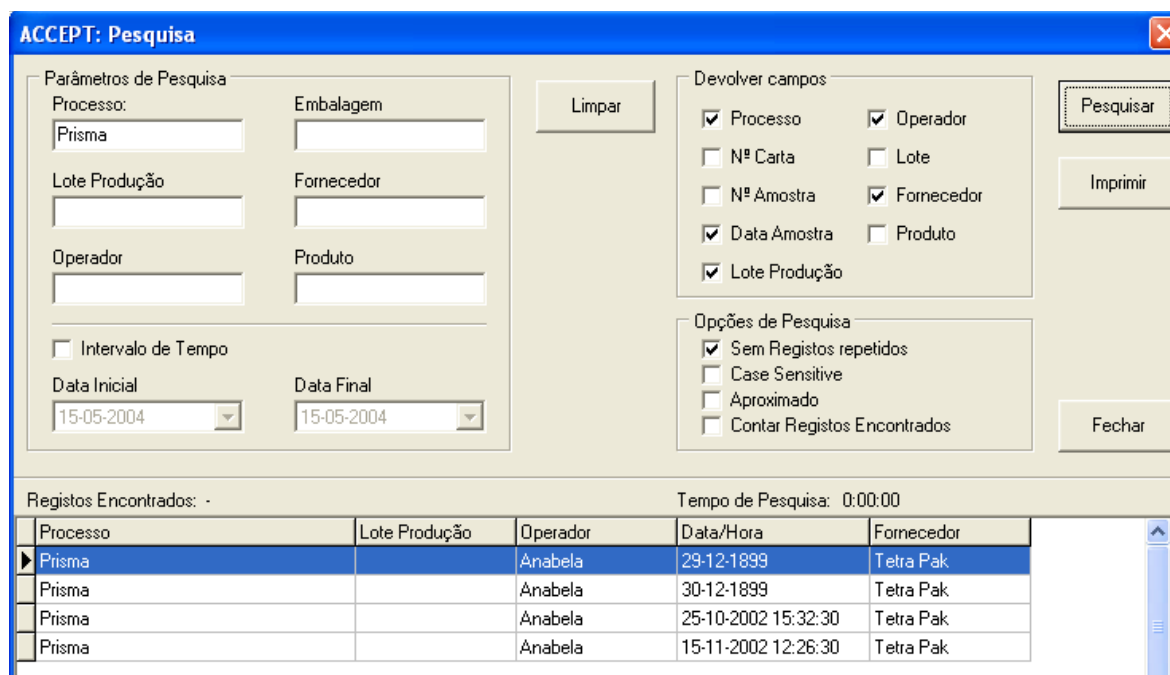


Figura 4.22- Ecrã da pesquisa orientada por objetos.

Todos os dados podem ser exportados para o Microsoft Excel© (Figura 4.23), com base num sistema de filtros, análogo ao usado na pesquisa de dados (Figura 4.22).

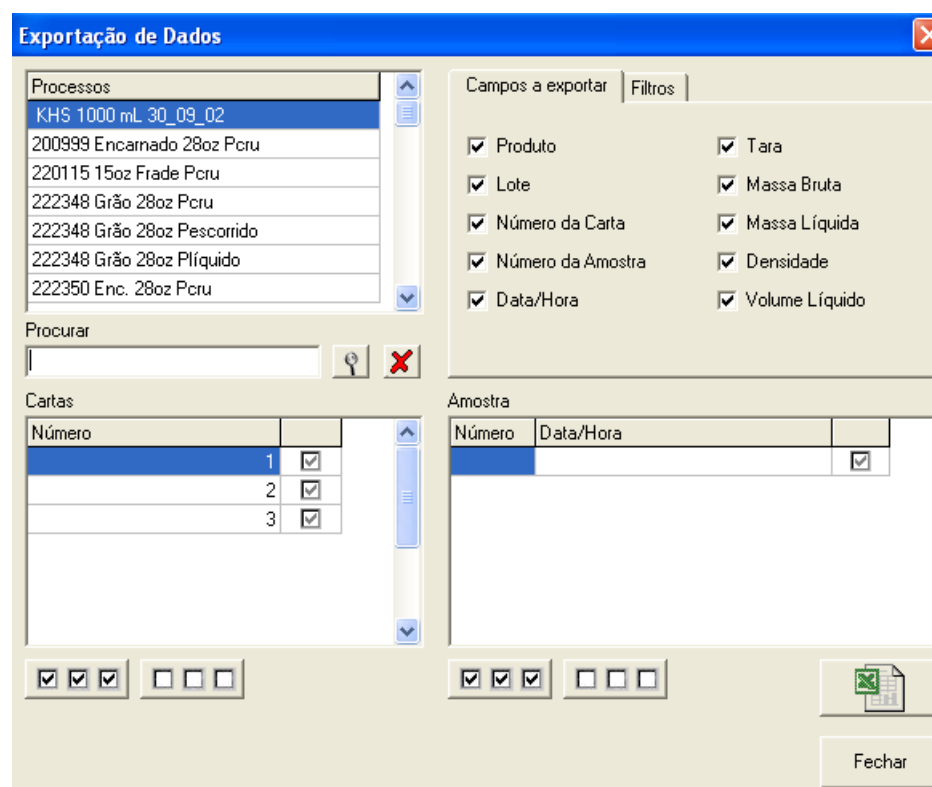


Figura 4.23- Ecrã da exportação de dados para o Microsoft Excel©.

4.5 Método de validação dos cálculos realizados pelo ACCEPT

A metodologia de validação dos cálculos realizados pelo sistema ACCEPT e seus componentes de estatística compreende geralmente as seguintes tarefas:

- 1- Criação de um processo e geração automática de dados;
- 2- Exportação desses dados para Excel[©] e/ou Minitab Release 14[©] e realização dos cálculos com base nesta ferramenta;
- 3- Ou então, criar um processo com um exemplo recolhido numa referência bibliográfica e efetuar os cálculos em Excel. Assim, é possível validar tanto os cálculos quer do ACCEPT como do Excel. No entanto, é comum encontrarem-se gralhas nas referências bibliográficas;
- 4- Análise do número de algarismos significativos a ter em conta nos arredondamentos.

No capítulo seguinte apresenta-se a forma como o sistema de controlo estatístico foi implementado nas diversas linhas de enchimento da empresa COMPAL SA.

CAPÍTULO 5 ANÁLISE DE CASOS PRÁTICOS

5.1 Apresentação da empresa

O trabalho de campo que serviu de teste à aplicação ACCEPT teve início em 2001 e foi desenvolvido na fábrica de Almeirim na empresa Compal que hoje pertence ao Grupo SUMOL+COMPAL SA.

A SUMOL+COMPAL é uma empresa líder no mercado nacional dos refrigerantes, sumos, néctares de frutos e vegetais, sendo também uma marca de referência para os consumidores em Portugal.

Apesar de o sistema ACCEPT hoje estar instalado quer na SUMOL quer na COMPAL focalizamos a nossa atenção na fábrica da Compal. Este empresa iniciou a sua atividade económica em 1952, no Entroncamento, mantendo aí as suas instalações fabris até ao ano de 1972. Em 1963 a maioria do capital foi adquirido pelo maior grupo industrial empresarial da altura: a CUF – Companhia União Fabril.



Figura 5.1- Fábrica de Almeirim da COMPAL SA (2003).

O crescimento que então se verificava na indústria do concentrado de tomate conduziu à implementação de uma nova unidade fabril em Almeirim (Figura 5.1), que iniciou a sua atividade transformadora em 1964, essencialmente vocacionada para o concentrado de tomate e tomate pelado. Durante alguns anos a atividade industrial da COMPAL foi repartida entre Almeirim e Entroncamento, mas a partir de 1965 foram tomadas decisões no sentido de direcionar a empresa para novos mercados e novos produtos. É então criada uma rede nacional de vendas, que tem como ponto de partida o lançamento de produtos de grande consumo tais como os sumos/néctares de frutos, procurando a empresa fomentar as suas vendas não só no mercado nacional como também em mercados de expressão Portuguesa, atingindo níveis de faturação bastante expressivos.

Em 2002, ano em que comemorou 50 anos, a COMPAL inaugurou uma nova fábrica em Almeirim, com o objetivo de assegurar a sua liderança na área de bebidas não alcoólicas em Portugal e em Espanha. Ao nível da capacidade de produção de sumos, esta fábrica tem dez linhas de produção (contra quatro das anteriores), com uma produção de duzentos e cinquenta mil litros (contra setenta e cinco mil litros anteriores).

Em 2009 nasce a SUMOL+COMPAL como resultado da integração de duas empresas reconhecidas pela qualidade e naturalidade dos seus produtos que detinham duas marcas históricas nacionais, entre as mais conhecidas, preferidas e consumidas pelos portugueses: SUMOL e COMPAL. O processo que veio a dar origem à SUMOL+COMPAL começou, no final de 2005, quando a Sumolis e o Grupo Caixa Geral de Depósitos (CGD) anunciaram a aquisição à Nutrinveste da Compal e da Nutricafés. Esta última empresa, que não fazia parte do intento estratégico definido, veio a ser alienada logo no primeiro trimestre de 2006.

Responder ao mercado, com uma diversidade de soluções, fazendo face à erosão das margens comerciais dos respetivos produtos, num ambiente de elevada competitividade, exige constante inovação. Assegurar o crescimento para obter ganhos de escala, garantir a qualidade da marca, produzir inovação ao nível da imagem e das variedades da oferta são os desafios a que a SUMOL+COMPAL não tem fugido, nesse jogo sedutor de conjugar tradição e inovação, sempre tão presente na trajetória da marca SUMOL+COMPAL.

Neste enquadramento, em 2002, a COMPAL decidiu, para além de outros investimentos, incorporar em todas as linhas de produção o sistema ACCEPT de controlo estatístico da *quantidade pré-embalada*, como garante ao consumidor da marcação CEE e à empresa de uma gestão eficaz das próprias linhas.

Dada a diversidade de produtos e tipos de enchimento, o presente capítulo teve, assim, por âmbito o estudo da implementação das ferramentas do controlo estatístico de processos à monitorização da *quantidade pré-embalada* nas diversas linhas de enchimento da COMPAL SA, constituindo-se para o efeito os cinco casos práticos apresentados no Quadro 5.1, nos quais se agrupam as linhas de enchimento com características semelhantes.

A gama de produtos da COMPAL SA alvo de estudo no presente trabalho são apresentadas na Figura 5.2.



Figura 5.2- Produtos Pré-embalados pela COMPAL SA (2003).

Quadro 5.1- Caracterização dos casos práticos em estudo.

Nº.	Designação	Linhas (Nº. Linhas)	Observações
1	Enchimento em Vidro	Vidro 200 e 330 mL (Zacmi) (1) Vidro 200 mL e 1L (HHS) (1)	Enchedora a nível constante e recurso a tara individual.
2	Linha de derivados de tomate (1)		Enchedora volumétrica e recurso a tara individual.
3	Enchimentos Tetra-Pak	Cartão 200 mL (3) Prisma Litro (3) Prisma 330 mL (1)	Enchedora a nível constante e recurso a tara média.
4	Enchimento em latas e bisnagas	Latas 7 oz (1) Bisnagas (1)	Enchedora volumétrica e recurso a tara média.
5	Enchimento de vegetais e lata	Vegetais (1)	Enchedora volumétrica e gravimétrica e recurso a tara média.

Nota: Para cada categoria de linhas indica-se o número de linhas existentes na SUMOL+COMPAL SA, por exemplo, há 3 linhas de cartão 200 mL.

Previamente ao estudo dos casos práticos citados, apresenta-se uma descrição do controlo metrológico realizado pela COMPAL SA, antes do início do presente trabalho em julho de 2001.

5.2 Controlo da *quantidade pré-embalada* na COMPAL SA

O controlo da *quantidade pré-embalada* sempre foi uma das preocupações da COMPAL SA, desde a transposição, em 1991, das diretivas comunitárias relativas a esta temática para o direito português.

Em todas as linhas de enchimento encontrava-se uma balança, onde eram efetuadas as pesagens quer das taras, quando o processo exigia o controlo da tara individual (todos os produtos em que a embalagem é de vidro), quer das massas bruta (produto e embalagem). O operador registava essas pesagens numa grelha calculava a média e amplitude de cada amostra; marcava esses valores numa carta de controlo de médias e outra de amplitudes e verificava o posicionamento desses pontos face aos limites de controlo, tendo igualmente regras estabelecidas para a análise de tendências e de situações fora de controlo, tais como: “sete pontos consecutivos em sentido crescente ou decrescente, ou acima ou abaixo do limite central” e “pontos fora dos limites de controlo”. Sempre que se verificasse a ocorrência de qualquer uma destas tendências o operador deveria descrever no campo: “Observações” da folha de registo as razões dessa anomalia e a ação corretiva realizada.

As cartas da média e amplitude eram traçadas por produto e os limites de controlo encontravam-se em gramas, corrigidos da massa volúmica no caso de produtos vendidos

em unidades de volume. Esta metodologia facilitava os cálculos aos operadores que assim marcavam diretamente na carta o valor em gramas.

Em todas as linhas de enchimento a frequência de amostragem era de 30 em 30 minutos, sendo retiradas entre 4 a 6 unidades por amostra.

O controlo estatístico da *quantidade pré-embalada* apresentava, no entanto, diversas limitações tais como:

1. A introdução manual dos valores que originava rasuras frequentes;
2. O operador apenas registava nas observações as paragens da máquina, os pontos fora de controlo e eventualmente os ajustes efetuados na enchedora quando estes ocorriam nas linhas de derivados de tomate, latas de 7 oz e bisnagas, não registando enganos de preenchimento.
3. O facto do valor da massa volúmica de um dado produto ser considerado constante, o que na realidade não se verificava, como é possível constatar no estudo realizado na COMPAL SA e apresentado na Secção 5.3.3, sendo notórias as variações da massa volúmica de um produto ao longo de um dia de produção, razão que inviabilizava a utilização de limites de controlo em massa, havendo, assim, necessidade de o converter para um controlo em volume.
4. As cartas de controlo da média e amplitude usadas nas diferentes linhas de enchimento eram traçadas por produto, o que limitava o acompanhamento contínuo da *quantidade pré-embalada* nessa linha, dada a constante mudança de produto.
5. O controlo da *quantidade pré-embalada* limitava-se ao registo dos dados por parte do operador, não sendo calculados novos limites de controlo quando detetadas situações fora de controlo, ou realizada qualquer análise de dados a longo prazo.

Consciente da necessidade de efetuar um controlo estatístico da *quantidade pré-embalada*, de uma forma simples, rápida e eficaz, a empresa iniciou em 2002 a instalação do sistema ACCEPT - Ajuda Computadorizada para o Controlo Estatístico do Processo, descrito no Capítulo 4, idealizado pela autora do presente trabalho e implementado a nível de programação informática pelo Eng^o. Gonçalo Martins da empresa SINMETRO Lda, da qual ambos detêm 71% do capital social.

Previamente à instalação desse sistema, foi realizado um estudo com o objetivo de identificar o tipo de controlo estatístico mais adequado a aplicar em cada linha de enchimento, nas quais predominava uma elevada diversidade de produtos e embalagens.

O estudo realizado na empresa COMPAL SA, que decorreu de julho de 2001 a março de 2002 e o estreito contacto estabelecido desde 1999 com a indústria embaladora nacional em geral, através da prestação de serviços de consultoria, auditoria, formação e desenvolvimento de *software*, permitiu identificar um conjunto de necessidades comuns relativamente ao controlo estatístico, especialmente, da *quantidade pré-embalada* que deu origem aos sistemas ACCEPT e ACCEPT-vino, este último desenvolvido à medida da indústria vitivinícola, no entanto, perfeitamente enquadrável em qualquer enchimento a nível constante, com enchedoras constituídas por vários bicos.

No presente trabalho, considerou-se como representativo o exemplo da empresa COMPAL SA, dada a diversidade de linhas de enchimento e de produtos fabricados e pré-embalados.

De facto, a total disponibilidade da empresa no acesso à informação e em particular à “Base de dados” do controlo estatístico dos processos de enchimento foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Neste sentido, descrevem-se nas secções seguintes os estudos realizados na COMPAL SA em cada uma das linhas de enchimento ou grupos de linhas de características similares.

5.3 Caso prático nº. 1: “Enchimento em vidro”

5.3.1 Análise das Fontes de Variação

Nas linhas de vidro de sumos e néctares de capacidade 200 mL, 330 mL e 1000 mL o doseamento é realizado através de enchedoras a nível constante, constituídas por vários bicos de enchimento em que o líquido é debitado por gravimetria, cessando a alimentação assim que o nível do líquido atinge o bico de enchimento, por um sistema de vácuo.

Assim, a variabilidade da *quantidade pré-embalada* dos produtos está diretamente associada ao volume interno disponível na garrafa de vidro, à densidade do produto, à temperatura do enchimento e ao comportamento da própria enchedora.

5.3.2 Variabilidade da Capacidade das Garrafas de Vidro

Com o objetivo de estudar a contribuição da embalagem de vidro na *quantidade pré-embalada*, analisaram-se vários boletins do principal fornecedor de vidro da COMPAL SA, estudaram-se aleatoriamente registos dos valores diariamente obtidos pelos operadores das linhas e realizaram-se algumas pesagens de taras individuais, de acordo com o procedimento previsto no ponto n.º 9 da Portaria 1198/91 de 18 de dezembro. De realçar que este diploma determina a metodologia adotada pelas entidades competentes na realização das inspeções à *quantidade pré-embalada*. Em todo o caso, poder-se-ia ter utilizado qualquer outra base de amostragem, tendo em conta os milhões de garrafas frequentemente rececionadas na COMPAL SA.

Ainda sob a influência de W. E Deming que caracterizava a aceitação por amostragem de “tardia, cara e ineficaz”, considerou-se como principal fonte de informação sobre a variância das taras no processo de enchimento os boletins dos fornecedores e os registos dos operadores que diariamente se debatem com este problema.

De qualquer forma, realizaram-se algumas pesagens de taras de 1000 mL, 500 mL e 200 mL. Os resultados são apresentados no Quadro 5.2. A partir destes dados é possível constatar que os desvios-padrão obtidos não são superiores a $\frac{1}{4}$ do erro admissível por defeito (EAD) da Portaria 1198/91 para essas quantidades nominais. Por exemplo, para as embalagens de 1000 mL e 500 mL, para as quais o erro previsto na citada Portaria é de 15 mL, os valores de desvio-padrão variavam entre 0,12 a 0,74 mL. No caso das embalagens de 200

mL, em que o erro é de 9 mL, os desvios-padrão oscilavam entre 0,63 e 0,7 mL. Apesar de estes valores cumprirem os critérios estabelecidos no ponto n.º 9 da Portaria 1198/91 sobre o cálculo da tara média com 20 unidades e de as entidades inspecionadoras poderem realizar os ensaios com tara média, sabe-se da análise dos registos e dos problemas detetados diariamente pelos operadores que seria um erro grosseiro considerar o valor da massa da tara constante ao longo do processo de enchimento. De notar que, estes valores de desvio padrão encontram-se dentro das especificações garantidas pelos fornecedores que habitualmente apresentam nos seus boletins de análise, desvios padrão entre 0,60 e 1,80 mL, quer se tratem de embalagens de 1000 mL, 500 mL ou 200 mL.

Quadro 5.2 – Análise da variabilidade das garrafas de vidro de 1000 mL, 500 mL e 200 mL.

Nº	M _{Taras} de 1000 mL (g)		M _{Taras} de 500 mL (g)		M _{Taras} de 200 mL (g)	
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2
1	456,5	452,2	240,2	242,3	148,3	147,6
2	458,5	450,5	241,0	242,4	147,1	147,9
3	462,5	460,3	241,1	241,9	147,6	146,8
4	456,4	456,1	240,6	242,2	148,1	147,0
5	457,4	451,8	240,3	242,1	147,9	148,2
6	458,5	452,6	240,6	243,5	147,6	148,6
7	456,8	451,6	240,6	243,5	147,1	147,1
8	457,4	460,7	241,0	243,4	146,5	147,4
9	460,1	456,6	240,6	242,2	148,0	148,3
10	458,9	456,9	240,5	242,0	148,4	148,5
11	456,1	451,3	240,7	243,3	148,6	146,7
12	455,9	455,5	240,2	243,6	147,1	148,3
13	461,0	452,2	240,8	243,4	147,4	147,6
14	459,9	454,8	240,6	243,4	148,3	148,1
15	460,2	461,1	240,5	241,9	148,3	149,1
16	457,9	457,3	240,5	242,2	147,0	149,2
17	457,8	454,0	240,2	243,6	146,9	148,3
18	461,6	450,5	240,8	243,5	148,2	147,9
19	460,9	456,3	240,2	243,6	147,8	146,8
20	455,6	456,8	240,3	242,3	146,7	147,3
Média	458,5	455,0	240,6	242,8	147,6	147,9
Desvio Padrão	0,45	0,74	0,12	0,29	0,63	0,72
¼ EAD	3,75 mL		3,75 mL		2,25 mL	

M_{Taras}- Massa das Taras (g); EAD- Erro Admissível por Defeito.

No entanto, os registos diários dos operadores demonstram que existem variações significativas de lote para lote de garrafas como dentro de um mesmo lote, não sendo igualmente fiáveis os boletins de análise apresentados pelos fabricantes de garrafas.

Por este motivo adotou-se um controlo com tara individual, ou seja, são retiradas 4 garrafas vazias a montante da enchedora, estas são marcadas de um a quatro, são introduzidas na linha e retiradas a jusante do enchimento, sendo novamente pesadas, havendo assim correspondência entre a tara e a massa bruta de cada garrafa; sabendo a massa volúmica do produto obtém-se o volume presente em cada uma das quatro garrafas.

5.3.3 Variabilidade da Massa Volúmica dos Produtos Pré-embalados

Sendo o controlo da *quantidade pré-embalada* realizado por pesagem e o ajuste das enchedoras efetuado com base em valores médios de massa volúmica tabelados para cada sumo ou néctar, foi fundamental caracterizar o comportamento da massa volúmica de um dado produto.

O método do picnómetro é considerado pelo procedimento IPQ (Instituto Português da Qualidade) – Pré-Embalados: Massa Volúmica de Produtos Líquidos, Viscosos e Pastosos, como sendo o mais adequado para a determinação da massa volúmica em sumos e néctares de frutos. Por exemplo, este é também o método usado pelas autoridades brasileiras no controlo metrológico da *quantidade pré-embalada* (Portaria INMETRO nº 74, de 25 de maio de 1995; Portaria INMETRO nº 88, de 28 de maio de 1996 e Norma N° NIE-DIMEL026). No entanto, este método é moroso e requer uma elevada perícia laboratorial, caso contrário poderá incorrer em inúmeros erros experimentais. Por outro lado, o projeto de procedimento do IPQ prevê ainda a utilização do densímetro digital para este tipo de produtos, desde que a mistura seja devidamente homogeneizada. Através deste equipamento é possível obter por leitura direta o valor da massa volúmica e da temperatura do produto com uma resolução de $0,0001 \text{ gcm}^{-3}$ e $0,01^\circ\text{C}$, respetivamente. Em todo o caso, é necessário ter em conta a legislação brasileira, dada a existência de um volume significativo de exportações da COMPAL SA para o mercado brasileiro. Assim, foram efetuadas determinações de massa volúmicas em néctares por estes dois métodos de modo a avaliar e comparar a exatidão dos mesmos. Usaram-se para o efeito um densímetro digital METTLER TOLEDO DA-110M e um picnómetro de 100 mL calibrado com água destilada. A metodologia seguida foi a descrita no projeto de procedimento do IPQ.

Os produtos testados foram os Néctares Pêssego, Ananás e Papaia Limão, tendo-se usado seis pacotes de cada néctar recolhidos aleatoriamente em armazém, de acordo com o previsto pela legislação brasileira.

É de realçar ainda o facto da massa volúmica variar mais significativamente nos produtos produzidos à base de polpa (caso dos néctares etc.), isto porque o °Brix (medida da concentração de sólidos solúveis num líquido que geralmente traduz a concentração de açúcares num líquido) e a acidez podem apresentar uma maior variabilidade. No caso dos produtos produzidos à base de sumos concentrados a massa volúmica apresenta uma menor variabilidade porque o °Brix é mais constante.

Os resultados apresentados no Quadro 5.3 demonstram que os valores de massa volúmica obtidos são semelhantes em ambos os métodos testados.

Os valores de desvio-padrão da massa volúmica de cada produto podem considerar-se insignificantes em qualquer um dos métodos. O densímetro digital apresentou ainda resultados excelentes no néctar de pêsego, que é um dos sumos com maior consistência. Deste modo, verifica-se como sendo válido o recurso ao método do densímetro digital como método de rotina, visto ser um equipamento de elevada estabilidade, exatidão e rapidez nos resultados.

De notar que, usou-se uma balança analítica de divisão 10^{-4} g de forma a se obterem valores com uma resolução equivalente à do densímetro digital. Para além disso, o Procedimento IPQ recomenda a realização de uma terceira medição se a diferença entre dois valores de massa volúmica for superior a 2/1000.

Quadro 5.3 – Comparação dos valores de massa volúmica obtidos pelo método do picnómetro e do densímetro digital, para os diferentes néctares em estudo.

Amostras	Massa Volúmica (picnómetro) (g.cm ⁻³)			Massa Volúmica (densímetro digital) (g.cm ⁻³)		
	N. L. Pêssego	N. L. Ananás	N.L. Papaia Limão	N. L. Pêssego	N. L. Ananás	N.L. Papaia Limão
1	1,0213	1,0222	1,0124	1,0213	1,0222	1,0124
2	1,0187	1,0232	1,0128	1,0188	1,0235	1,0129
3	1,0208	1,0233	1,0127	1,0208	1,0236	1,0128
4	1,0213	1,0233	1,0133	1,0216	1,0238	1,0133
5	1,0219	1,0238	1,0133	1,0219	1,0239	1,0132
6	1,0217	1,0236	1,0136	1,0219	1,0237	1,0138
Média	1,0209	1,0232	1,0130	1,0211	1,0235	1,0131
Desvio-padrão	0,0012	0,0006	0,0004	0,0012	0,0006	0,0004
Máximo	1,0219	1,0238	1,0136	1,0219	1,0239	1,0138
Mínimo	1,0187	1,0222	1,0124	1,0188	1,0222	1,0124

N.L- Néctar Light

Foi ainda considerado como relevante a análise dos pontos críticos do processo produtivo que poderiam influenciar a massa volúmica dos sumos e néctares. Identificaram-se quatro pontos do processo, tais como: **depósito de formulação**, **depósito de balanço**, **pasteurização e enchimento**. Estas etapas são comuns a todos os processos de enchimento de sumos, diferindo apenas na capacidade dos depósitos de formulação e de balanço. No entanto, esta diferença não é crítica, na medida em que apenas aumenta ou diminui o número de cargas produzidas.

O produto é fabricado num tanque de formulação, no qual são adicionados todos os ingredientes necessários, incluindo as polpas e os concentrados de sumo que podem

apresentar alguma heterogeneidade, nomeadamente o °Brix e a acidez. Após formulado, o produto é analisado pelo laboratório de controlo de qualidade, que verifica se o mesmo cumpre todas as especificações. Caso seja aprovado é transferido para o depósito de balanço. Este depósito tem como função o abastecimento de produto ao pasteurizador, além de permitir o retorno daquele que não tenha sido efetivamente pasteurizado. Assim, a pasteurização é a operação que antecede o enchimento quer este seja feito a frio (enchimento asséptico nas linhas tetra-pak) ou a quente (restantes linhas). A partir do momento em que se dá início ao enchimento, uma outra carga de produto é produzida.

Na prática, cada carga pode apresentar um valor diferente de massa volúmica. A carga que se encontra no depósito de formulação é transferida para o depósito de balanço, ainda quando este possui parte da carga anterior, sendo esta a razão pela qual a massa volúmica varia constantemente.

De forma a avaliar o grau e a periodicidade dessa variação num mesmo dia de produção, foram efetuadas medições da massa volúmica antes e após o enchimento, com recurso ao método do densímetro digital, a uma temperatura de aproximadamente 20°C. Os resultados dessas medições, presentes no Quadro 5.4 demonstram que a massa volúmica aumenta após o enchimento. Este aumento é originado pela pasteurização, visto que este processo homogeneiza o produto tornando-o mais concentrado. Permitem ainda concluir que a massa volúmica de qualquer produto varia ao longo de um dia de produção.

Deste modo, os pontos mais críticos do processo produtivo que influenciam a massa volúmica dos produtos são a própria matéria-prima e principalmente a pasteurização. Assim, a determinação da massa volúmica como controlo de rotina só é possível após o enchimento.

Quadro 5.4 – Comparação das massas volúmicas dos néctares de pêsego, ananás, alperce e manga antes e após o enchimento.

Amostras	Massa Volúmica (Depósito Balanço) (g.cm ⁻³)				Massa Volúmica (Após enchimento) (g.cm ⁻³)			
	N. L. Pêssego	N. L. Ananás	Alperce	Manga	N. L. Pêssego	N. L. Ananás	Alperce	Manga
1	1,0475	1,0240	1,0576	1,0460	1,0510	1,0252	1,0583	1,0493
2	1,0440	1,0239	1,0570	1,0454	1,0525	1,0245	1,0588	1,0490
3	1,0435	1,0238	1,0558	1,0473	1,0498	1,0248	1,0587	1,0489
4	1,0460	1,0241	1,0564	1,0464	1,0504	1,0251	1,0584	1,0494
5	1,0445	1,0237	1,0572	1,0474	1,0509	1,0247	1,0589	1,0496
6	1,0429	1,0239	1,0559	1,0472	1,0506	1,0249	1,0577	1,0492
7	1,0428	1,0240	1,0568	1,0468	1,0512	1,0251	1,0583	1,0488
Média	1,0445	1,0239	1,0567	1,0466	1,0509	1,0249	1,0584	1,0492
Desvio-padrão	0,0017	0,0001	0,0007	0,0007	0,0008	0,0003	0,0004	0,0003
Máximo	1,0475	1,0237	1,0558	1,0454	1,0498	1,0245	1,0577	1,0488
Mínimo	1,0428	1,0241	1,0576	1,0474	1,0525	1,0252	1,0589	1,0496

Com base no exposto para o presente caso prático, conclui-se que o sistema de controlo estatístico da *quantidade pré-embalada* terá de ser capaz de adquirir os dados das pesagens das taras individuais e das respetivas massas brutas, bem como o cálculo do volume líquido presente em cada embalagem, através da definição da massa volúmica do produto, que por sua vez poderá variar entre os períodos de recolha das amostras.

5.3.4 Definição do Controlo Estatístico do Processo a aplicar neste caso prático

Dada a constante mudança de produto, criaram-se processos no ACCEPT por linha de enchimento e quantidade nominal, com o objetivo de proporcionar um acompanhamento da linha.

Optou-se pelas cartas de controlo de médias e de amplitudes, que já eram familiares aos operadores, apesar de nestas linhas serem aplicáveis as cartas de controlo de “pequenas produções”. No entanto, como não é comum a mudança de quantidade nominal ao longo de um dia de produção (24 horas), decidiu-se criar um processo por cada quantidade nominal e por linha.

No Quadro 5.5 indicam-se os diferentes processos criados no sistema ACCEPT, bem como algumas características dos mesmos, tais como: número de produtos pré-embalados; desvio padrão das especificações de cada quantidade nominal (σ_{esp}); plano de amostragem usado, com a indicação do número de amostras traçadas por carta (k) e do número de garrafas retiradas por amostra (n) em períodos de tempo consecutivos (30 em 30 minutos); o facto de a pesagem se efetuar com tara média, individual ou média por amostra e ainda se a massa volúmica dos produtos varia de amostra para amostra.

Quadro 5.5- Parametrização dos processos analisados no Caso Prático nº. 1.

Processos	Nº. Produtos	σ_{esp} .	Amostragem	Tara	Massa Volúmica
KHS de 200 mL	34	1,7	n= 4 e k=25 de 30 em 30 min	Individual	Variável
KHS de 1000 mL	30	1,8	n= 4 e k=25 de 30 em 30 min	Individual	Variável
ZACMI 330 mL	6	1,7	n= 4 e k=25 de 30 em 30 min	Individual	Variável

Na Figura 5.3 apresentam-se exemplos de ecrãs relativos à criação de um processo (KHS 1000 mL) em análise neste caso prático.

Figura 5.3- Propriedades do Processo KHS 1000 mL.

Definidos os processos (Figura 5.3), inicia-se a recolha de dados, através das balanças que debitam diretamente esses valores para o ACCEPT.

Aquando da criação dos processos foram ativadas algumas regras de alerta da existência de causas especiais de variação, sendo apresentado ao operador um ecrã de comentário sempre que violada uma dessas regras.

Assim que introduzido um dado no sistema é traçada a carta de controlo selecionada (médias e amplitudes), o histograma e o gráfico de probabilidades da distribuição normal, com o objetivo de verificar a normalidade dos dados, pressuposto fundamental para a validação dos parâmetros do processo (média e variância), bem como dos índices de capacidade do processo (C_p e C_{pk}) e a percentagem de defeituosos.

O utilizador pode ainda optar por “tornar invisível” um dado ponto da estatística, caso este tenha sido resultado de uma anomalia do processo. É ainda possível verificar se dois ou mais produtos apresentam variâncias semelhantes ou divergentes, através do teste de Bartlett. Por exemplo, para o processo KHS 1L, selecionando a carta 18 e as amostras referentes aos sumos néctares (amostras 1 a 14 e 20 a 25) o teste é aceite, ou seja, não há diferenças significativas entre as variâncias destes produtos. Por outro lado, optando apenas pelas amostras 15 a 19 relativas aos sumos Gold, o teste é rejeitado, havendo diferenças entre os produtos da gama “Gold”. Assim, o teste é rejeitado caso o utilizador opte por incluir na sua análise as 25 amostras da carta de Controlo. Este estudo é ilustrado na Figura 5.4.

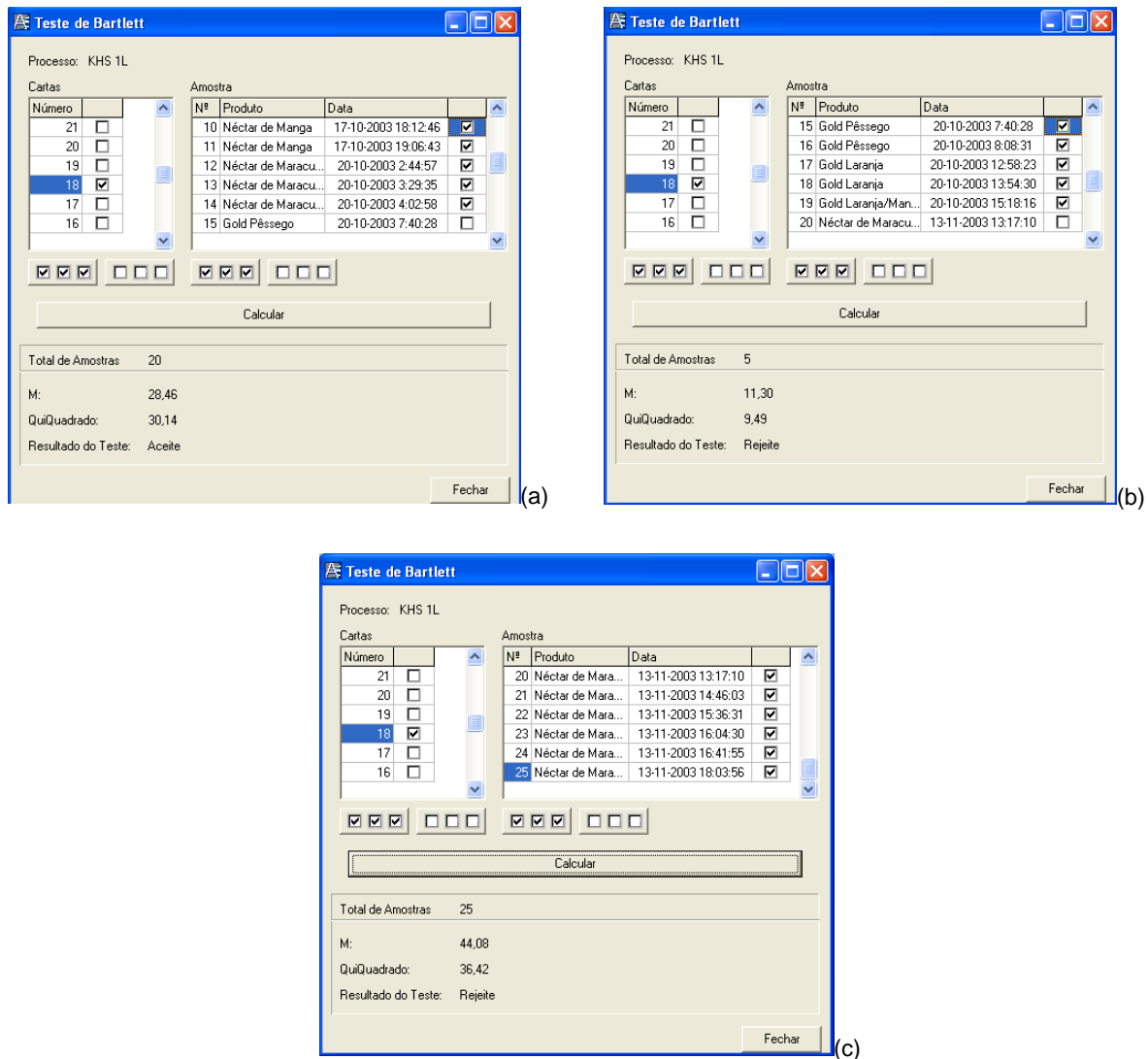


Figura 5.4- Exemplificação do teste de Bartlett para a carta 18 do processo KHS 1L, considerando num caso apenas as amostras dos sumos néctares (a), noutros dos sumos gold (b) e todas as amostras (c).

Os limites de especificação foram definidos com base no histórico existente em papel e pela análise dos parâmetros estatísticos de “processos-teste” criados aquando do arranque do sistema ACCEPT na COMPAL SA. Nesta fase de teste, verificou-se através da análise de capacidade que o processo era capaz de cumprir a variabilidade imposta nas especificações. Periodicamente esses limites de especificação foram e são alvo de revisão, sendo adotadas medidas de melhoria, onde se enquadram, por exemplo, os planos de manutenção das próprias linhas.

O plano de amostragem definido teve em conta a variabilidade das linhas e, muito importante para que o sistema funcione na prática, os recursos humanos disponíveis.

De realçar que a **Linha Zacmi** opera com cadências horárias médias de 12000 garrafas/hora e 20.000/garrafas para as quantidades nominais de 330 mL e 200 mL, respetivamente. Esta linha não permite o ajuste de nível durante o enchimento, limitando desta forma o controlo do processo de enchimento na minimização da variabilidade devido à enchedora.

A **linha de Vidro 2 (KHS)**, considerada de “tecnologia de ponta”, instalada na COMPAL SA em 2002 apresenta cadências médias de 26.000 garrafas/hora e 7600 garrafas/hora para as quantidades de 200 mL e 1 L, respetivamente. Esta linha permite ajustes no nível de enchimento a qualquer instante e apresenta um controlo “bico a bico”. No entanto, analisando o Quadro 5.6 verifica-se que as capacidades dos processos analisados não diferem significativamente de linha para linha.

Em ambas as linhas (Zacmi e KHS), e tal como demonstrado na secção 5.3.2, é muito significativa a variabilidade da capacidade efetiva disponível em cada garrafa, ou seja, duas garrafas com níveis de líquido idênticos podem apresentar volumes significativamente diferentes. Este problema aumenta em função do tamanho da garrafa.

Segundo os técnicos da COMPAL SA o controlo das *quantidades pré-embaladas* em qualquer linha de vidro, reveste-se de elevada importância na avaliação de fornecedores, uma vez que em cada amostra são pesadas quatro garrafas vazias.

Uma outra fonte de variação, estudada na secção 5.3.3, é a flutuação do valor da massa volúmica dos diferentes produtos. Idealmente, o valor de massa volúmica deveria ser medido em todas as amostras, mas tal medição é de todo impraticável, pelo que é necessário usar um valor médio que é corrigido sempre que existem alterações significativas na formulação de um dado produto.

De notar que, muitas indústrias de Vinhos do Porto, medem a massa volúmica do vinho sempre que efetuam uma amostra, dado o valor económico do produto e o facto de este parâmetro estar correlacionado com a temperatura do fluido (esta com a temperatura ambiente) e com o grau alcoólico (de variabilidade pouco significativa).

Conscientes destas fontes de variação, estabeleceu-se um plano de amostragem com uma frequência de aproximadamente, 30 em 30 minutos, com a recolha de 4 garrafas por amostra e 25 amostras por carta de controlo.

Finda a recolha de 25 amostras o gestor do processo poderá optar por recalcular os limites de controlo, manter os limites anteriores ou fixar novos limites arbitrariamente. De facto,

pretende-se encontrar para cada processo os limites de controlo nos quais este seja capaz de estar “sob controlo estatístico” e fixá-los no tempo, no entanto, da implementação prática do sistema ACCEPT em diversas indústrias nacionais, constatou-se que há casos em que tal estado não é possível, funcionando, nestas situações, as “cartas de controlo” como gráficos de acompanhamento da evolução dos processos.

Tratando-se de um controlo que visa o cumprimento do disposto em vários diplomas legais, em particular dos critérios da média e dos conteúdos efetivos da Portaria 1198/91 de 18 de dezembro, sempre que é realizada uma amostra estes critérios são verificados, sendo este valor apresentado na carta de controlo. É ainda possível, avaliar o cumprimento destes critérios selecionando o processo, carta(s) de controlo e amostra(s) em análise, de acordo com o exemplificado na Figura 5.5.

Cartas		Amostra			
Número		Nº	Produto	Data	
18	<input checked="" type="checkbox"/>	20	Néctar de Mara...	13-11-2003 13:17:10	<input checked="" type="checkbox"/>
17	<input type="checkbox"/>	21	Néctar de Mara...	13-11-2003 14:46:03	<input checked="" type="checkbox"/>
16	<input type="checkbox"/>	22	Néctar de Mara...	13-11-2003 15:36:31	<input checked="" type="checkbox"/>
15	<input type="checkbox"/>	23	Néctar de Mara...	13-11-2003 16:04:30	<input checked="" type="checkbox"/>
14	<input type="checkbox"/>	24	Néctar de Mara...	13-11-2003 16:41:55	<input checked="" type="checkbox"/>
13	<input type="checkbox"/>	25	Néctar de Mara...	13-11-2003 18:03:56	<input checked="" type="checkbox"/>

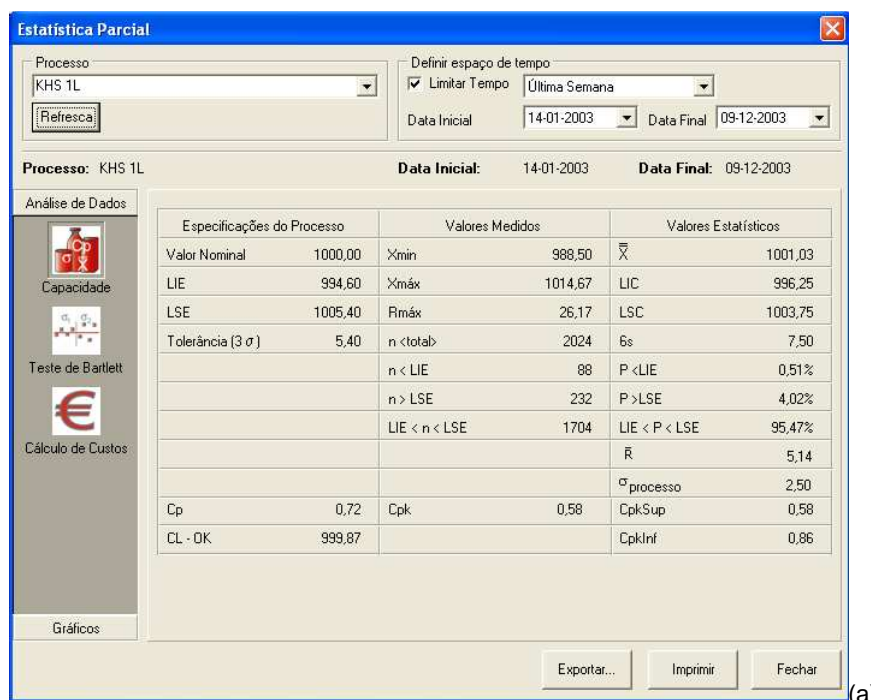
Total de Pesagens	100
Médias	
Capacidade	
$\bar{x} = 999,77$	
Critério Legal	Conformidade
Capacidade	
$\bar{x} \geq QN - K s = 999,44$	OK

Figura 5.5- Verificação legal da média para a carta de controlo nº. 18 do processo KHS 1L.

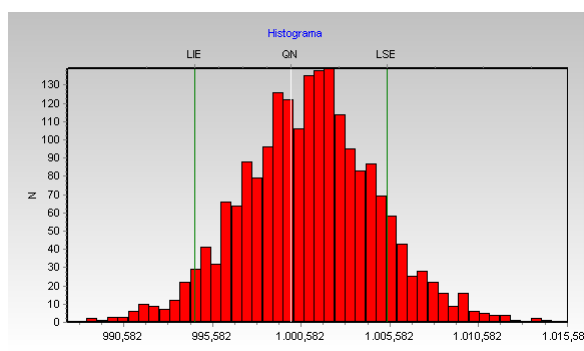
Considerando os dados do processo “KHS 1L” desde 14-01-2003 a 09-12-2003, constata-se que, apesar de se tratar de uma enchedora instalada na COMPAL no ano de 2002 dotada de um sistema sofisticado de controlo de nível e de capacidade, os resultados apresentados na Figura 5.6 evidenciam dificuldades no cumprimento das especificações. Este facto deve-se essencialmente às fontes de variação anteriormente citadas.

Em todos os processos (vide Quadro 5.6) são evidentes tendências de um enchimento por excesso, um índice Cpk muito baixo, provocando uma elevada percentagem de produto “defeituoso” acima do limite superior de especificação. Geralmente, no que diz respeito a produtos pré-embalados líquidos, o facto de uma embalagem apresentar uma quantidade

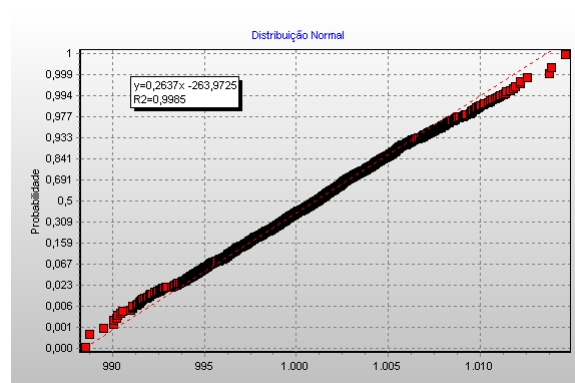
por excesso apenas representa um custo de produção acrescido, não sendo este considerado defeituoso, estando inclusive a beneficiar o consumidor. Os pressupostos de normalidade são cumpridos tal como demonstra o histograma e o gráfico da distribuição normal, ilustrados na Figura 5.6.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.6- Análise da capacidade do Processo KHS 1L desde 14-01-03 a 09-12-03 (a) e validação dos pressupostos de normalidade através do histograma (b) e do gráfico da distribuição normal (c).

No Quadro 5.6 resumem-se os principais resultados obtidos para os três processos em análise neste caso prático, tendo em conta o volume de dados em estudo (n_{total}), o horizonte temporal, o desvio-padrão do processo (σ_{pr}), o índice de capacidade do processo (C_p), o índice de capacidade do processo face ao limite superior de especificação (C_{pk}); o

índice de capacidade do processo face ao limite inferior de especificação (Cpki); e a percentagem de defeituosos (%Defe).

Quadro 5.6- Análise da Capacidade dos Processos do caso prático nº. 1.

Processos	n _{total}	Horizonte temporal	$\sigma_{pr.}$	Cp	Cpks	Cpki	%Defe.	D. Normal	T. Bartlett
KHS de 200 mL	1928	27-10-03 a 19-12-03	1,16	1,47	0,2	2,73	27,31	Sim	Rejeitado
KHS de 1000 mL	2024	14-01-03 a 09-12-03	2,5	0,72	0,58	0,86	4,53	Sim	Rejeitado
ZACMI 330 mL	184	08-09-03 a 09-12-03	0,99	1,72	-0,29	3,72	80,47	Sim	Aceite

5.4 Caso prático nº. 2: “Linha de Derivados de Tomate”

Nesta linha, o enchimento é efetuado por uma enchedora volumétrica. A cada bico de enchimento está associado um depósito que apresenta uma capacidade previamente definida. Esta enchedora pode efetuar o enchimento de líquidos (sumos e néctares) e produtos pastosos (polpa de tomate) em garrafas de vidro desde 200 mL até 1000 mL.

A exatidão do doseamento depende dela própria, isto é, depende se os diversos depósitos (acoplados aos bicos de doseamento) estão devidamente aferidos e a funcionar em plenas condições. Supostamente, neste processo a embalagem de vidro não estaria diretamente associada à variabilidade dos conteúdos nominais dos diversos produtos cheios nesta linha. No entanto, as garrafas de concentrado de tomate não podem apresentar um espaço livre de cabeça (distância entre o bordo rasante da garrafa e o nível do concentrado de tomate) elevado, uma vez que o produto ganha facilmente bolores. Por isso, se verifica em todos os processos estudados uma tendência clara de um enchimento por excesso.

As constantes flutuações da concentração de tomate, contribuem de forma muito significativa para a variabilidade da massa de concentrado de tomate na garrafa.

Por estas razões e para minimizar o trabalho dos operadores considerou-se, na maioria dos processos, tara média por amostra, ou seja, sempre que o operador inicia uma amostragem retira aleatoriamente uma garrafa vazia a montante da enchedora e considera o seu peso constante nas quatro observações que constituem a amostra. A jusante retira aleatoriamente 4 garrafas cheias. Este procedimento está ilustrado na Figura 5.7.

Entrada de Dados - Derivados Tomat 1000g Proc N°1 -> Carta 14			
Amostra 1			
Embalagens	Tara	MBruta	MLíquida
1	424,00	1453,90	1029,90
2	424,00	1451,70	1027,70
3	424,00	1455,80	1031,80
4	424,00	1448,80	1024,80
Amostra 2			
Embalagens	Tara	MBruta	MLíquida
1	423,30	1444,10	1020,80
2	423,30	1439,80	1016,50
3	423,30	1442,90	1019,60
4	423,30	1441,40	1018,10
Amostra 3			
Embalagens	Tara	MBruta	MLíquida
1	425,40	1452,00	1026,60
2	425,40	1454,20	1028,80
3	425,40	1449,20	1023,80
4	425,40	1449,70	1024,30

Figura 5.7- Grelha de entrada de dados do processo: “Derivados de Tomate 1000g”.

Até à instalação do sistema ACCEPT em 2002 os valores médios e as amplitudes eram registados manualmente em cartas de controlo X-R, sendo estas expressas em massa. Assim, cada produto possuía limites de especificação próprios. Como esta linha é vocacionada para o enchimento de polpas de tomate e produtos afins, comercializados em unidades de massa, as cartas de controlo expressas em massa são as indicadas.

Analogamente ao estipulado no “Caso Prático nº. 1” também aqui se optou por criar processos apenas por quantidade nominal, independentemente do produto a dosear.

No Quadro 5.7 indicam-se os diferentes processos criados no sistema ACCEPT para esta linha, bem como algumas características dos mesmos (análogo ao realizado no caso prático nº. 1)

Quadro 5.7- Parametrização dos processos sob controlo na linha de derivados de tomate.

Processos	Nº. Produtos	$\sigma_{esp.}$	Amostragem	Tara
Derivados de Tomate 1000 g	9	2,5 g	n= 4 e k=25 de 30 em 30 min	Média por amostra
Derivados de Tomate 160 mL	2	2,5 mL	n= 4 e k=25 de 30 em 30 min	Média
Derivados de Tomate 340 g	5	2,5 g	n= 4 e k=25 de 30 em 30 min	Média por amostra
Derivados de Tomate 500 g	10	2,5 g	n= 4 e k=25 de 30 em 30 min	Média por amostra

No enchimento de “Derivados de Tomate 160 mL” constatou-se a necessidade de se criar um processo para cada um dos produtos - “Molho Picardo COMPAL” e “Molho Inglês COMPAL” que apresentam médias dispares, mas desvios-padrão semelhantes, como se verifica claramente na carta de controlo nº. 4 e no respetivo histograma da Figura 5.8. Esta tendência mantém-se ao longo de todos os registos existentes na base de dados, relativos ao processo - “Derivados de Tomate 160 mL”, como ilustrado nos ecrãs da Figura 5.9. O histograma do processo evidencia a existência de duas distribuições normais com médias diferentes, mas desvios-padrão semelhantes, o que acaba por ser comprovado pelo teste de Bartlett que é aceite, considerando em análise todas as amostras realizadas neste processo. Este problema poderia ser colmatado com o recurso a cartas de controlo de desvios ao valor médio e amplitudes, ao invés da utilização da carta de médias e amplitudes.

Estas diferenças estão associadas à consistência dos dois molhos, sendo o “Molho Picardo COMPAL” bastante mais denso que o “Molho Inglês COMPAL”. Sendo assim, no Quadro 5.13 não se apresentam os índices Cpk, nem se consideram como válidas as percentagens de defeituosos, para o caso de 160 mL.

Os restantes processos apresentam, variabilidades muito elevadas. Este facto deve-se essencialmente à antiguidade desta linha, à necessidade de dosear quase a bordo rasante e à composição pastosa do concentrado de tomate, tal como anteriormente citado.

Estas questões são do conhecimento da empresa COMPAL SA que para evitar quaisquer problemas relacionados com quantidade em defeito, optou por debitar uma quantidade de produto superior à inscrita no seu rótulo. De notar que está projetada a substituição desta linha num futuro próximo.

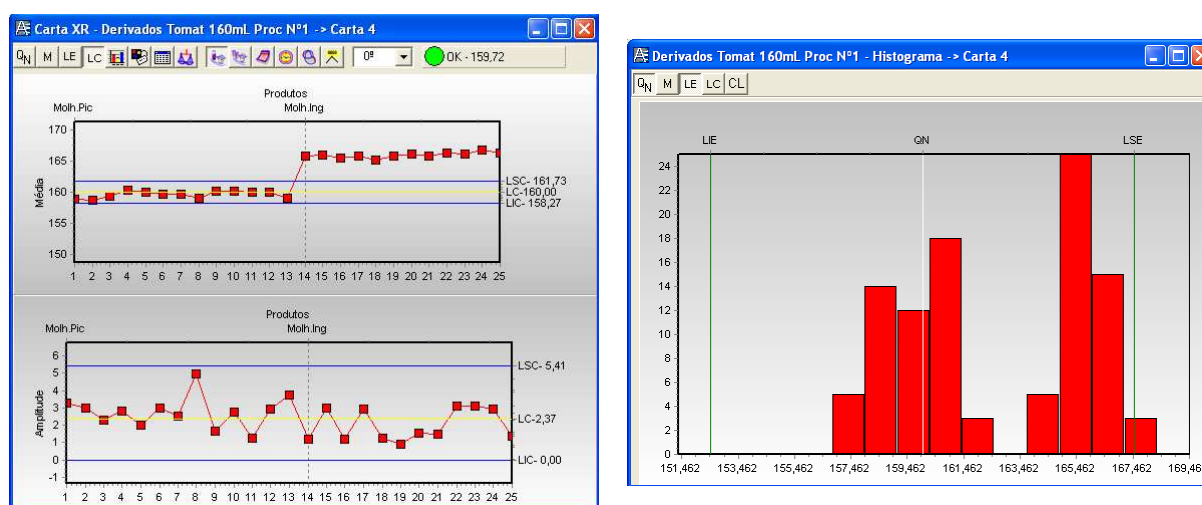


Figura 5.8- Carta nº. 4 e respetivo histograma do processo - “Derivados de Tomate 160 mL”.

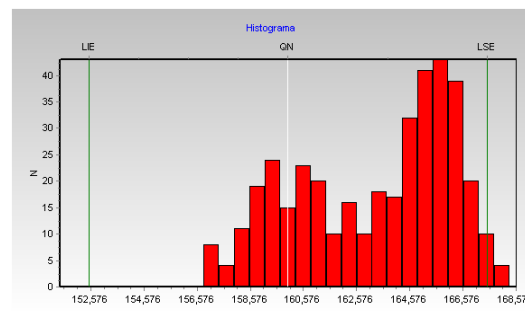
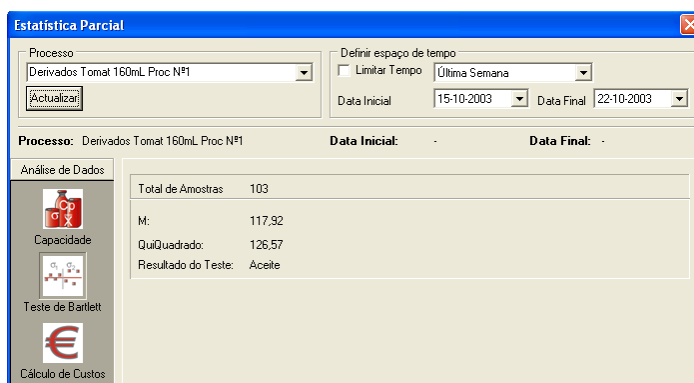


Figura 5.9- Teste de Bartlett a todas as amostras da Carta nº. 4 e respetivo histograma do processo - “Derivados de Tomate 160 mL”.

Em resumo, no Quadro 5.8 apresenta-se uma análise comparativa do comportamento dos diferentes processos abordados, analogamente ao realizado no caso prático nº. 1.

Quadro 5.8- Análise da Capacidade dos Processos.

Processos	n _{total}	Horizonte temporal	σ_{pr}	C _p	C _{pk}	C _{pk}	%Defe.	D. Normal	T. Bartlett
Derivados de Tomate 1000 g	848	26-08-03 a 25-11-03	3,25	0,77	-1,34	2,88	100%	sim	Rejeitado
Derivados de Tomate 160 mL	412	15-10-03 a 22-10-03	1,06	2,36	-	-	-	-	Aceite
Derivados de Tomate 340 g	300	15-07-03 a 24-07-03	4,67	0,54	0,42	0,65	13,07	sim	Rejeitado
Derivados de Tomate 500 g	1884	19-09-03 a 11-12-03	4,10	0,61	0,11	1,11	36,69	sim	Rejeitado

Nesta linha, caso se usasse tara individual, e nas linhas analisadas no “caso prático nº. 1” seria interessante efetuar o controlo dos vários bicos de enchimento se o operador registasse o número do bico onde entra a primeira garrafa vazia. Consequentemente, seria possível traçar um gráfico com a evolução das quantidades debitadas por cada bico de enchimento como mostra a Figura 5.10.

No entanto, por dificuldades técnicas associadas à identificação exata dos bicos, o controlo bico a bico não foi ainda implementado na COMPAL SA.

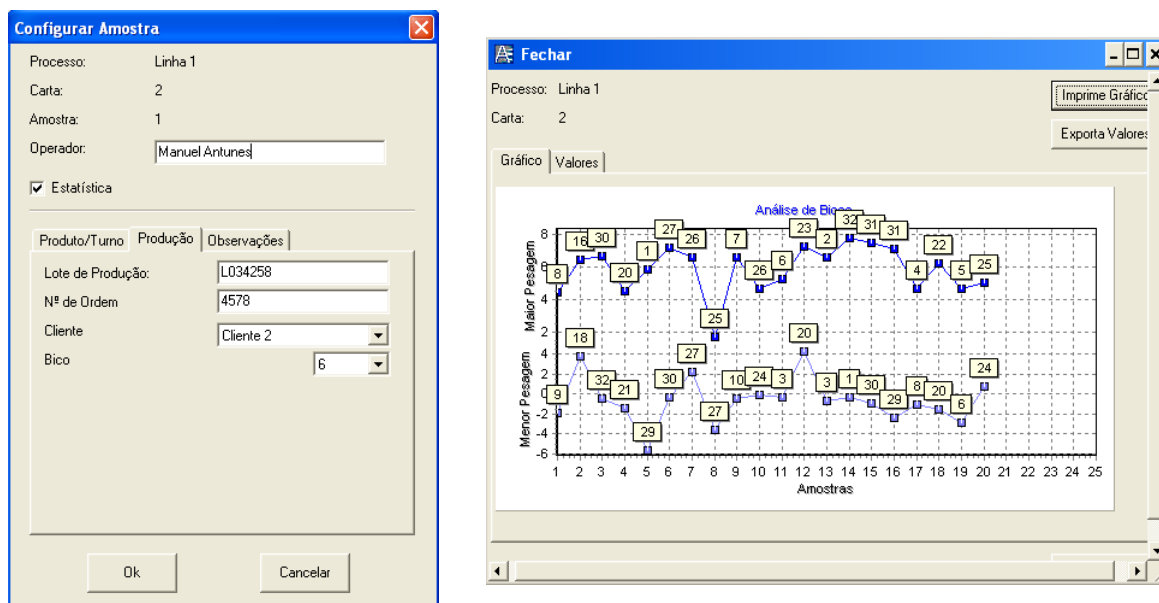


Figura 5.10- Registo do número do bico onde entra a primeira garrafa vazia e análise da evolução da quantidade debitada pelos diferentes bicos de enchimento.

5.5 Caso Prático nº. 3: “Enchimento Tetra-Pak”

Nas enchedoras do tipo “Tetra Brik Aseptic” o produto final é cheio à temperatura ambiente (25-35 °C) em embalagens de cartão de 0,2; 0,33 e 1 litro.

Antes de se proceder ao enchimento, a linha é esterilizada, com vista à criação de um ambiente de assepsia total. O procedimento usado obedece às seguintes instruções de trabalho:

- Limpeza da máquina com água e hidróxido de sódio com extensão a todo o circuito do produto, sendo as restantes zonas limpas manualmente;
- Fecho da máquina (tubo papel, câmaras assépticas) formando-se uma barreira de vapor entre a máquina e o meio ambiente;
- Pulverização de toda a zona asséptica com peróxido a 35% em volume;
- Esterilização da máquina com vapor a 360°C. Este ar estéril ao passar em todos os mecanismos da máquina vai eliminar os vestígios de peróxido.

A enchedora pode funcionar em contínuo durante 32 horas, sem perder a esterilidade. Após as 32 horas de produção e/ou caso aconteça algo que obrigue à abertura das zonas assépticas, realizam-se todas as etapas anteriormente descritas.

- Após a esterilização da máquina, procede-se à esterilização do material de embalagem. O rolo de papel de embalagem é colocado devidamente na máquina e conduzido até ao Pull-Tap onde ocorre a perfuração do local de abertura. O Pull-Tap é um equipamento adjacente à máquina enchedora que efetua o furo da embalagem, aplicando duas fitas, uma interna e outra externa ao furo de forma a garantir a estanquicidade da embalagem. De seguida, processa-se a soldadura longitudinal da embalagem.
- Após esta fase, o papel é mergulhado num banho de peróxido (tempo e temperatura são especificações internas), passando a seguir por uma cortina de ar quente (125°C). A ação do peróxido e as elevadas temperaturas da câmara asséptica asseguram a esterilidade da embalagem.
- Após a esterilização da embalagem, inicia-se o enchimento propriamente dito. Trata-se de um fase contínua, durante a qual se completa a formação da embalagem. O néctar ou sumo é introduzido na embalagem quando esta se encontra na forma de tubo, sem qualquer entrada de ar no interior da embalagem. Em simultâneo ocorre o corte e a soldadura transversal (topo e fundo) dos pacotes através de mandíbulas, as quais são ajustadas de acordo com a quantidade nominal de produto desejada. A soldadura é do tipo indução de alta frequência, ou seja, ocorre a transferência de elevada energia para o alumínio da embalagem, cujo calor gerado provoca a colagem. A “Pregadora” conclui a embalagem através da soldadura das abas. Todas as etapas da soldadura são acompanhadas pela presença de água gelada, para diminuir o calor gerado pelas mesmas.
- Terminado o enchimento, os pacotes são identificados através de carimbos existentes na própria máquina, com o número de lote e prazo de validade.
- À saída da enchedora os pacotes cheios passam por um equipamento (Recap), onde ocorrerá a colagem dos recap (abertura fácil).

Este processo de enchimento é o único que forma a própria embalagem e efetua o enchimento.

Como o pacote é formado na própria máquina, é inevitável o recurso a tara média. Deste modo houve necessidade de avaliar se os valores pré-determinados de 29,2 g; 13,3 g e 8,2 g para o cartão de litro; 330 mL e 200 mL, respetivamente são os adequados. Neste sentido, a metodologia de ensaio implementada foi a seguinte:

- Retiraram-se da linha dez pacotes de sumo sem recap (Litro ou 0,2 L);
- Abriram-se os pacotes ao meio com o auxílio de um bisturi e verteu-se todo o seu conteúdo;
- Lavaram-se os pacotes e colocaram-se na estufa de 55°C, umas horas;
- Verificou-se se os pacotes estavam bem secos e retiraram-se da estufa;
- Deixaram-se arrefecer os pacotes à temperatura ambiente e pesou-se individualmente cada um deles;
- Determinou-se a média e o desvio padrão da amostra;

Os resultados obtidos nos diversos ensaios apresentam-se no Quadro 5.9. Um vez que as embalagens de 330 mL apenas foram introduzidas na COMPAL em setembro de 2003, este estudo, realizado em 2002, apenas contemplou as embalagens de litro e de 200 mL. De facto, os resultados obtidos em 2002, demonstraram que os valores de tara média estabelecidos são considerados adequados. Em ambos os casos, os desvios padrão são insignificantes, o que traduz uma variabilidade entre taras reduzida.

Neste sentido, assim que instalada em setembro de 2003 a enchedora Tetra Brik, e dada a validação dos valores de tara média das embalagens de Litro e 200 mL, usou-se o valor de tara média da embalagem de 330 mL recomendado pelo fornecedor de película.

Quadro 5.9 – Análise da variabilidade da massa das embalagens de cartão tetra-pak.

Nº	M _T Litro (g)		M _T 0,2 L (g)	
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2
1	29,1	29,4	8,3	8,3
2	29,3	29,3	8,5	8,3
3	29,1	29,3	8,2	8,2
4	29,2	29,3	8,3	8,3
5	29,0	29,2	8,3	8,2
6	29,0	29,3	8,4	8,2
7	29,1	29,2	8,2	8,2
8	29,2	29,3	8,3	8,3
9	29,2	29,2	8,2	8,2
10	29,3	29,1	8,2	8,2
Média	29,2	29,3	8,3	8,2
Desvio Padrão	0,11	0,08	0,09	0,05

M_T. Massa das taras de cartão Tetra Pak

O número de taras usadas para determinar o valor da tara média está de acordo com o disposto no ponto 9.1 da Portaria nº 1198/91, que descreve que o efetivo da amostra para a determinação do valor de tara média é de 10 unidades, quando a massa da tara é inferior a 10% da massa bruta. Apesar do valor de massa bruta de qualquer embalagem depender da massa volúmica do produto, genericamente, uma embalagem de cartão de litro pode apresentar um valor de massa bruta de 1055 gramas, pelo que 10% deste valor equivale a 105,5 g, logo 29,2 g é inferior a 105,5 g, o que está de acordo com a Portaria nº 1198/91.

De realçar, assim, que nestes processos as principais fontes de variação são a massa volúmica dos produtos, analisada no “caso prático nº. 1” e a regulação das duas mandíbulas, responsáveis pela soldadura do pacote.

Sendo difícil para o operador identificar de qual das mandíbulas é oriundo um dado pacote, estipulou-se que seriam retirados quatro pacotes consecutivos à saída da linha, de 30 em 30 minutos, de forma a obter igual contribuição, quer na média quer na variabilidade do processo, de ambas as mandíbulas.

Este procedimento é igual nas 7 linhas Tetra Pak e Tetra-Prisma existentes em 2004 na COMPAL SA. Este estudo apenas contempla a análise das três linhas em funcionamento na COMPAL no ano de 2003.

Dado o elevado número de produtos embalados nestas enchedoras, tal como acontece nos casos práticos anteriores, considerou-se a criação de um processo no ACCEPT por linha de enchimento e quantidade nominal.

A parametrização do controlo da *quantidade pré-embalada*, em cada uma das linhas de enchimento, é apresentada no Quadro 5.10, analogamente ao realizado nos casos práticos anteriores.

Quadro 5.10- Parametrização dos processos relativos às linhas Tetra-Pak.

Linhas e Processos	Nº. Produtos	$\sigma_{esp.}$	Amostragem	Tara
Tetra Prisma 1L	43	1,5 mL	n= 4 e k=25 de 30 em 30 min	Média
Tetra Pak 200 mL	10	1,0 mL	n= 4 e k=25 de 30 em 30 min	Média
Tetra Prisma 330 mL	25	1,0 mL	n= 4 e k=25 de 30 em 30 min	Média
Polpa de tomate 210 g	8	1,0 g	n= 4 e k=25 de 30 em 30 min	Média

No Quadro 5.11 apresenta-se uma análise comparativa dos diversos processos de enchimento Tetra-Pak e Tetra-Prisma.

Quadro 5.11- Análise da Capacidade dos Processos das linhas Tetra-Pak e Tetra-Prisma.

Processos	n_{total}	Horizonte temporal	$\sigma_{pr.}$	C_p	C_{pk}	C_{pki}	%Defe.	D. Normal	T. Bartlett
Tetra-Pak 0,2 L 1	2644	20-11-03 a 23-12-03	0,48	2,08	1,9	2,26	0	Sim	Rejeitado
Tetra-Pak 0,2 L 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetra-Prisma 1 L 1	2224	20-11-03 a 21-12-03	2,01	0,75	0,63	0,87	3,47	Sim	Rejeitado
Tetra-Prisma 1 L 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetra-Prisma 1 L 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetra-Prisma 0,33 L	2568	21-10-03 a 19-12-03	1,72	0,58	0,39	0,77	12,95	Sim	Rejeitado
Polpa de tomate 210 g	680	23-10-03 a 13-12-03	1,19	0,84	0,49	1,19	7,2	Há desvios	Rejeitado

Analisando o Quadro 5.11 verifica-se uma elevada variabilidade dos processos, demonstrando dificuldades no cumprimento das suas especificações, à exceção da linha de 200 mL, que apresenta um excelente desempenho. O processo de polpa de tomate demonstra a existência de duas médias, com um comportamento considerado desviante ao de uma distribuição normal, sendo necessária cautela na interpretação dos parâmetros do processo e dos índices de capacidade.

Segundo o coordenador do controlo de processo da COMPAL SA, a variabilidade das linhas tetra-pak, principalmente das tretra-prisma, está associada a um rápido desgaste de certas peças que são responsáveis pela formação da embalagem.

5.6 Caso Prático nº. 4: “Enchimento em Latas e Bisnagas”

O enchimento das latas de 7 oz é efetuado por uma enchedora volumétrica. O princípio de funcionamento desta enchedora é análogo à da Linha de Derivados de Tomate.

Na fase de arranque, ou quando se muda de produto ou de fornecedor de embalagens, é determinada a tara média da embalagem, retirando 20 latas vazias da linha de forma aleatória, às quais se adiciona os respetivos tampos. Este valor é válido para um dia de produção. Nestas situações, efetua-se também o ajuste da enchedora, retirando 30 latas de forma aleatória, determinando-se a massa média do produto líquido. Caso seja necessário, a enchedora é ajustada e é de novo verificada a massa média do produto líquido.

O controlo metrológico da produção consiste em retirar à saída da enchedora 4 latas de 30 em 30 minutos. A metodologia de controlo é análoga à descrita para as linhas tetra-pak.

Na linha das bisnagas é efetuado o enchimento de concentrado de tomate através de uma enchedora volumétrica. O princípio de funcionamento inerente a este tipo de enchimento é idêntico ao descrito para a linha das latas de 7 oz. Embora se trate do enchimento de um produto pastoso, este é facilitado pela própria temperatura do enchimento (próxima de 98°C) que o torna momentaneamente mais fluido.

Também nesta linha, na fase de arranque ou quando se muda de fornecedor de embalagens, é determinada a tara média, pesando 10 bisnagas vazias. Este valor é válido para um dia de produção. Nestas situações, efetua-se também o ajuste da enchedora, retirando aleatoriamente 20 bisnagas, determinando a massa média do produto líquido. O controlo metrológico da produção consiste em retirar à saída da enchedora 4 bisnagas de 30 em 30 minutos. Esta linha trabalha muito esporadicamente na COMPAL SA, não havendo dados no ACCEPT até dezembro de 2003, pelo que não é realizada qualquer análise a dados desta linha.

A parametrização do controlo da *quantidade pré-embalada* na linha 7 oz e a análise do seu comportamento são apresentadas nos Quadro 5.12 e Quadro 5.13.

Quadro 5.12- Parametrização dos processos relativos às linhas 7 oz e bisnagas.

Linhas e Processos	Nº. Produtos	$\sigma_{esp.}$	Amostragem	Tara
Linha 7 oz	8	2,5 mL	n= 6 e k=25 de 30 em 30 min	Média

Quadro 5.13- Análise da Capacidade dos Processos das linhas 7 oz e bisnagas.

Processos	n_{total}	Horizonte temporal	$\sigma_{pr.}$	C_p	C_{pks}	C_{pki}	%Defe.	D. Normal	T. Bartlett
Latas 7 oz	2094	16-07-03 a 06-10-03	3,41	0,73	0,64	0,84	3,42	Sim	Rejeitado

A linha 7 oz apresenta dificuldades no cumprimento das suas especificações. Este facto deve-se essencialmente aos seguintes fatores:

- 1- Antiguidade da linha;
- 2- Todos os produtos nela pré-embalados são néctares, que apresentam flutuações constantes nos seus valores de massa volúmica;
- 3- Vibrar das passadeiras que transportam as latas desde a enchedora até à soldadora que coloca o tampo, distanciadas entre si aproximadamente 3,5 metros, fazendo com que haja perda de produto.

Está também prevista a substituição desta linha num futuro próximo.

5.7 Caso Prático nº. 5: “Enchimento de Vegetais em Lata”

O processo de enchimento da linha dos vegetais é assegurado por uma enchedora telescópica, bastante antiga, ilustrada na Figura 5.11.

Este equipamento é constituído por um prato rotativo, o qual tem acoplado 24 telescópios dispostos à sua volta, sendo estes de 15 oz ou de 28 oz. O vegetal é doseado nos telescópios através da “cabeça” abastecedora do prato, a qual é regulável, assim como as pás rotativas que acertam o nível do vegetal no prato.

Esta enchedora apresenta alguns problemas quer devido à sua própria conceção (doseia por volume), quer talvez devido ao desgaste, o qual está naturalmente associado à sua idade e ao seu elevado número de horas de funcionamento, embora este equipamento possua um plano de manutenção. Estes problemas contribuem para diminuir a eficiência da enchedora no doseamento de vegetais, pelo que origina uma grande variabilidade no peso por lata.

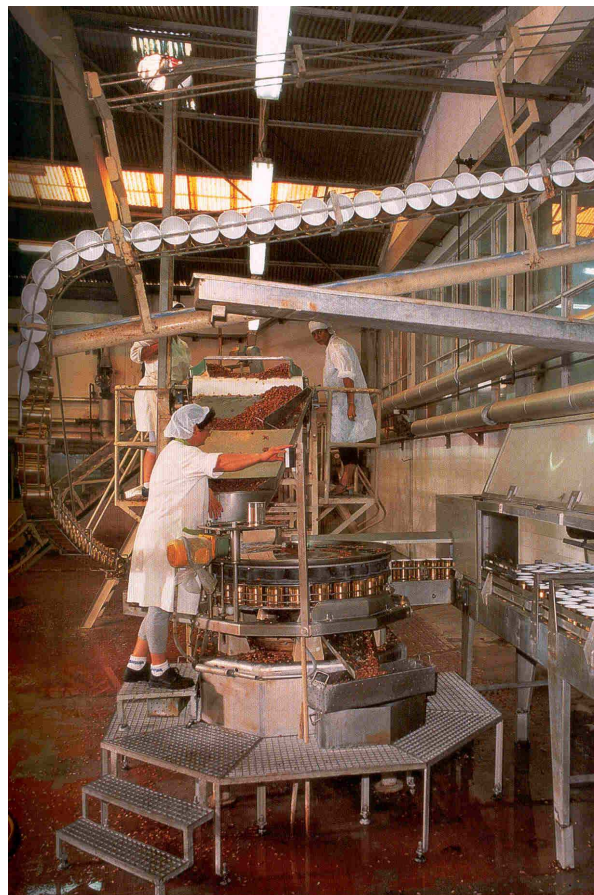


Figura 5.11- Linha de Enchimento de Vegetais (COMPAL, 2002).

Assim, a observação do funcionamento do equipamento e a recolha de informações transmitidas pelos operadores ao laboratório de controlo da qualidade dão indicações de deficiência da enchedora no que diz respeito ao controlo de pesos, nomeadamente:

- Desgaste de algumas pás que parecem ser de borracha e que têm por objetivo regular o nível do vegetal;
- O prato da enchedora apresenta indícios de estar empenado;

A elevada variabilidade dos conteúdos efetivos nestas linhas de enchimento deve-se essencialmente aos seguintes fatores:

- 1- O tempo de remolho.** Este é definido pelo laboratório de controlo da qualidade e realizado a montante do enchimento, influenciando de algum modo as características do vegetal, sendo, no entanto, muito difícil de quantificar.
- 2- O valor de projeto.** Antes de se proceder ao enchimento de um lote de vegetal, uma amostra é cozida em laboratório e geralmente verifica-se que o vegetal ganha massa após a esterilização, sendo então estabelecido um valor nominal para a quantidade de vegetal em cru. Este valor de projeto, não influencia a variabilidade da quantidade de vegetal por lata, mas é a característica mais importante em termos económicos. Este valor é estabelecido por:

Valor de Projeto = Peso escorrido presente no rótulo - Ganho mínimo de peso do vegetal durante os 45 dias de incubação em laboratório

3- Método de Enchimento anteriormente descrito.

4- Massa volúmica do enchimento ou variações de granulometria do vegetal. Como a enchedora enche por volume, a granulometria do vegetal tem influência, assim como o número de vegetais partidos e o número de peles. A situação é mais grave quando o vegetal a encher se encontra no fundo do depósito e por isso o número de partidos aumenta, o que por sua vez implica uma maior irregularidade no calibre do vegetal

5- Evolução do peso do vegetal após a cravadeira. De um modo geral, o vegetal duplica a sua massa após incubação, mas este valor é geralmente aferido aquando da determinação do valor de projeto, havendo, no entanto, algumas reservas, dada a heterogeneidade da evolução dos pesos.

De notar que no rótulo de qualquer vegetal em Lata, vêm sempre indicados dois valores de peso: peso do vegetal escorrido e peso líquido (vegetal mais salmoura).

A identificação destas fontes de variação foi fundamental para estabelecer os pontos de controlo da verificação dos conteúdos pré-embalados.

Assim, o controlo metrológico das quantidades de vegetal pré-embaladas realiza-se em diversas etapas:

▪ **Controlo do peso do vegetal em cru:**

Este controlo é essencial para o ajuste da enchedora. O Laboratório retira 4 latas de 30 em 30 minutos e procede à pesagem do vegetal cru. Para o ajuste inicial retira sempre mais latas (8 a 12) ou quando a máquina se desajusta, o que acontece frequentemente ao longo do dia, principalmente quando se trata de feijão branco e encarnado. Os critérios de ajuste são empíricos, isto é, quando após uma pesagem de 4 latas se verifica, por exemplo, que 3 delas apresentam pesos inferiores ou superiores ao valor médio pretendido a enchedora é ajustada. Na prática esse ajuste é alvo de verificação por parte dos técnicos do laboratório e operadores da máquina, além de ser constante ao longo de um dia de produção. Este facto não permite um controlo estatístico do processo.

▪ **Controlo do peso líquido à saída da cravadeira:**

Este controlo é fundamental para controlar a doseadora do soluto (salmoura). Consiste em pesar 4 latas de hora a hora e registar o seu peso líquido no boletim de análise.

▪ **Controlo do peso líquido e escorrido após esterilização:**

Este controlo consiste em pesar 3 a 4 latas de vegetal aproximadamente de 2 em 2 horas e registar o peso líquido (vegetal + salmoura), assim como o peso escorrido do vegetal. Este controlo intermédio é muito importante na definição da necessidade de efetuar ajustes na enchedora. A maioria dos feijões (salvo algumas exceções) poderá apresentar uma tolerância entre 10 a 15 gramas de peso escorrido inferior ao que está descrito no rótulo nesta fase, visto que poderá ainda recuperar o peso através de absorção de água, no entanto, essas tolerâncias devem ser justificadas ao longo do enchimento de forma a garantir que o processo é capaz de operar dentro destas gamas, sendo calculado o valor de Cpk correspondente.

▪ **Controlo do peso líquido e escorrido após incubação:**

Este controlo consiste em pesar algumas latas de produto após incubação (sendo o tempo de incubação 21 dias). Na maioria dos casos o que se pode verificar é que as latas são cheias por excesso para garantir que cumprem os pesos que estão no rótulo. Esta situação poderá ter um custo para a empresa, no entanto é a única forma de não correr riscos face à enorme variabilidade da enchedora e de todos os outros fatores associados a este processo.

No sistema ACCEPT foram criados três processos por produto e lote de produção para controlo do peso do vegetal em cru, do peso escorrido e líquido após a cravadeira.

De um modo geral, nenhum destes processos é capaz de cumprir as especificações, havendo uma tendência clara de um enchimento por excesso.

Dadas as limitações de funcionamento desta linha, esta será objeto ainda em 2004 de uma total remodelação, quer a nível de equipamento quer de *layout*, prevendo-se a instalação do sistema ACCEPT de pesagem em Linha, para o controlo do peso do vegetal em cru e do peso líquido à saída da cravadeira.

Esta decisão foi fundamentada, com base na análise dos processos sob controlo no ACCEPT, que permitiu concluir que existiam elevadas perdas económicas quer devido a quantidade em excesso, quer ao elevado volume de trabalho dos operadores.

5.8 Impacto do sistema ACCEPT nos processos de enchimento da COMPAL SA

O impacto da implementação do sistema ACCEPT em 2002 para o controlo das *quantidades pré-embaladas* pela empresa COMPAL SA traduziu-se essencialmente:

- Em ganhos de eficácia da rentabilidade dos operadores que passavam a ter unicamente o trabalho de colocar as embalagens sobre as balanças e acompanhar os processos, quando antes tinham de preencher manualmente as cartas de controlo, que eram realizadas por linha de enchimento e produto.
- Numa capacidade de estimar os custos de produção e a capacidade de produção dos diversos processos, a qualquer instante.
- Numa elevada redução de custos de produção, impondo ações corretivas aos operadores, com base na emissão de alertas, sempre que detetados desvios no processo.
- Possibilitou a tomada de decisão sobre ações preventivas/corretivas (revisão dos planos de manutenção preventiva/corretiva) e investimentos a realizar, tendo fundamentado a remodelação da linha de vegetais já em 2004 e a substituição futura da linha de derivados de tomate e da lata de 7 oz.
- Permitiu identificar as principais fontes de variação na *quantidade pré-embalada* e a capacidade de exigir, por exemplo, responsabilidades aos fornecedores.

“A implementação do Sistema Informático ACCEPT 1.3 na COMPAL S.A foi uma ferramenta importante na automatização do controlo estatístico do processo, tendo revolucionado o processo de enchimento ao permitir um controlo estatístico em tempo real, o cumprimento da legislação de pré-embalados e a minimização de desperdícios.”

(Eng.º José Guilherme - SUMOL+COMPAL SA)

CAPÍTULO 6 CONCLUSÃO

O presente trabalho tinha como principal objetivo descrever o levantamento de especificações que serviu de base ao desenvolvimento de uma aplicação informática de controlo estatístico da *quantidade pré-embalada*. Esta aplicação é hoje uma realidade em muitas empresas embaladoras nacionais de grande, média e pequena dimensão que a utilizam. Em 2002 foi registada com a marca de ACCEPT (Ajuda Computadorizada ao Controlo Estatístico de Processos).

Julgamos que a sua simplicidade, e ao mesmo tempo, o seu rigor técnico-científico, foram fundamentais na aceitação desta aplicação junto do seu mercado alvo.

Além disso, a aplicação potencia a concretização de alguns aspetos inicialmente referidos como indispensáveis para ganhar a batalha da eficiência, rentabilidade e comercialização dos produtos pré-embalados com a aposição da marcação CEE.

De realçar o facto de o *modus operandi*, em fábrica, do controlo das quantidades ser muito semelhante nas mais diversas indústrias embaladoras, possibilitando o desenvolvimento de uma aplicação, em certa medida, generalista, mas especificamente enquadrada no controlo da quantidade pré-embalada.

Alguns utilizadores do sistema ACCEPT definiram o impacto desta aplicação nos seus processos de enchimento da seguinte forma:

“Sistematização da monitorização, obtenção de dados representativos e relevantes, excelente oportunidade para a organização utilizar técnicas estatísticas e ferramentas da qualidade, proporcionando a possibilidade de identificar tendências e melhorar a eficácia do SGQ.”

(Eng.º António Lopes – Central de Cervejas SA)

“Accept é uma ferramenta estatística, onde a eficiência é a tradução de eficácia”

(Daniel Bandarra & Elisabete Pereira - Novadelta SA)

“Penso que o programa Accept foi importante para a José Maria da Fonseca pois permitiu alcançar um duplo objetivo.

Em primeiro lugar, o de ter um processo muito mais controlado em termos de funcionamento prático, nomeadamente o ter de gerir cerca de 60/70 produtos em 4 linhas e duma forma contínua e sequencial.

A questão de obtermos um processo de enchimento em "controlo estatístico" torna-se mais fácil de alcançar com o Accept que permite efetuar uma análise mais linear aos processos envolvidos. Esta é uma situação que a JMF está a tentar melhorar mas está muito dependente de fatores que se prendem sobretudo com as variações na matéria-prima (vidro). É pois um objetivo que prosseguimos com a ajuda do Accept.

Por outro lado, o Accept permite-nos responder numa forma muito clara a todos os requisitos legais envolvidos no enchimento de pré-embalados. Desta forma, qualquer desvio pode ser antecipado e corrigido muito mais facilmente”

(Eng.º. Luís Cristóvão - José Maria da Fonseca SA)

“O ACCEPT teve um impacto imediato na Mistolin já que permitiu aos operadores o acompanhamento rápido e fidedigno das variações de volume no enchimento, o que se traduziu numa diminuição de desperdícios e consequente redução de custos.

De notar que cerca de 85% dos nossos operadores não possuíam qualquer conhecimento de informática, mas esse facto não foi impedimento para a rápida adaptação ao uso do ACCEPT.”

(Eng.º. Rui Pinho - Mistolin Produtos de limpeza lda)

Consideram-se, assim, atingido os objetivos inicialmente traçados. Para este sucesso foi determinante:

- estudar o enquadramento legal do controlo metrológico de pré-embalados e as técnicas estatísticas preconizadas por diversos autores para a implementação deste controlo em fábrica, evidenciando os principais fatores de variação que influenciam a variável “*quantidade pré-embalada*” (conforme apresentado nos capítulos 2 e 3);
- apresentar o processo de engenharia de requisitos do sistema informático de gestão integrada do controlo estatístico da *quantidade pré-embalada* nos diversos processos de enchimento de uma unidade fabril. O objetivo deste sistema é o de proporcionar às organizações um meio de recolha, armazenamento e tratamento de dados que facilita a tomada de decisão e possibilita uma gestão eficaz desses processos produtivos, com significativos ganhos de rentabilidade (conforme apresentado no capítulo 4);
- o estreito contacto estabelecido com os demais intervenientes no controlo metrológico da *quantidade pré-embalada*;
- acompanhar a instalação da aplicação em diversas empresas e recolher opiniões dos seus utilizadores com vista à sua melhoria (conforme os casos práticos apresentados no capítulo 5).

As maiores dificuldades encontradas prendem-se com:

- a definição clara das especificações da aplicação que se pretendia adequada para qualquer empresa embaladora. Por exemplo, numa primeira fase de desenvolvimento, a densidade de um produto comercializado em unidades de volume era considerada constante num dado processo. No entanto, logo se verificou que tal facto iria limitar em larga escala a utilização do sistema, uma vez que era comum, em muitas

empresas, uma variação deste parâmetro. No caso dos vinhos do porto, a densidade era medida sempre que era recolhida uma amostra.

- a criação de um *interface* com o utilizador que simplificasse o seu *modus operandi*. Por exemplo, o ecrã “envia valor” sofreu alterações significativas ao longo do desenvolvimento. Na aplicação inicial este ecrã nem sequer existia, e, quando criado, apenas mostrava o nome do produto, do processo e da amostra; numa fase seguinte, já apresentava uma indicação visual da embalagem (cheia ou vazia) e os valores das pesagens. Tentou-se igualmente minimizar a utilização do “rato”, gerando teclas de acesso às diversas funcionalidades. Muitas outras alterações têm sido realizadas ao longo do tempo de forma a tornar mais cómoda a utilização do ACCEPT por parte dos seus utilizadores. Obviamente que muito há a fazer no sentido de melhorar continuamente esta aplicação.

As maiores debilidades da aplicação prendem-se com o seguinte:

- estar traçada à medida das necessidades do controlo de processos de enchimento, o que pode limitar a sua disseminação para outros setores de atividade;
- ainda não funcionar em ecrãs tácteis;
- estar muito dependente do engenheiro informático que a criou e desenvolve continuamente.

Relativamente à função das entidades reguladoras, pensamos que muito há a fazer no âmbito da revisão da Portaria 1198/91 de 18 de dezembro de 2008 de modo a clarificar os ensaios de verificação metrológica, que segundo a minha perspetiva deveriam seguir o disposto da recomendação R87 de 2004 da OIML.

Quanto às empresas embaladoras, apesar da existência de ferramentas internacionais de defesa do consumidor, a realidade portuguesa está longe das metas definidas em 1991 com a transposição das diretivas comunitárias sobre pré-embalados para o direito português, sendo inúmeras as dúvidas colocadas pelas entidades embaladoras quer relativas à interpretação da legislação quer à implementação do controlo estatístico em fábrica.

Neste sentido, recomendamos às entidades embaladoras que implementem um sistema de controlo estatístico, analisando previamente as fontes de variação dos seus processos de enchimento, as quais poderão originar dificuldades na manutenção de um processo “sob controlo estatístico”. Estas causas estão geralmente associadas às características físico-químicas dos próprios produtos, ao modo de funcionamento das máquinas de enchimento, à influência das condições ambientais (por exemplo: quando o produto é sensível a

flutuações de humidade e temperatura) e à variabilidade da capacidade efetiva das embalagens (crítico nos sistemas de enchimento que usam vidro como material de embalagem e enchimentos a nível constante). Para este estudo, podem recolher amostras em frequências pré-definidas (por exemplo: 30 em 30 minutos); calcular os seus limites de controlo com recurso a cartas de controlo; verificar se o processo está sob controlo estatístico e, nesse caso, determinar os índices de capacidade do processo e a percentagem de defeituosos com base nas suas especificações. Estas, por sua vez, deverão ser bilaterais face à quantidade nominal e não unilaterais, como se verificou em muitas empresas que usavam o erro admissível por defeito da Portaria 1198/91 para estabelecer esses limites.

Quanto à empresa COMPAL SA, sugerimos que se minimize a variância de alguns processos, nomeadamente da linha de derivados de tomate e de vegetais, implementando ações de melhoria. Por exemplo, no caso dos vegetais, será mais conveniente, usar um sistema de pesagem em linha que possibilite um controlo a 100% do peso do vegetal em cru e após a cravadeira. Se realize uma análise bico a bico, no caso da linha da polpa de tomate, e negocie com os seus fornecedores de vidro de embalagem, limites de especificação e capacidade de produção (Cpk) mais vantajosos para a COMPAL SA, de forma a diminuir o impacto de flutuações nas capacidades destas embalagens.

Em face das metodologias e soluções propostas e dos resultados já obtidos, considera-se ser fundamental que, a curto prazo, este trabalho seja aprofundado de acordo com as seguintes linhas de ação:

- integrar novas técnicas de controlo estatístico como, as cartas de controlo para “pequenas produções” e atributos, e ainda a análise multivariada e de componentes principais;
- desenvolver mais e melhores capacidades de aprendizagem no planeamento dos sistemas de controlo estatístico, a partir da análise do histórico das variáveis dos processos;
- ampliar a filosofia de integração para um controlo estatístico da qualidade, construindo um sistema capaz de gerir todas as ações de controlo realizadas numa unidade fabril, desde as inspeções às matérias-primas e materiais subsidiários. Devem ainda ser consideradas as características da qualidade e controlo dos produtos em produção, finalizando nas auditorias ao produto acabado e aos fornecedores;
- melhorar a aplicabilidade da solução apresentada;

- incrementar a capacidade de resposta à prevenção e correção de anomalias nos processo, associada à robustez da solução aqui preconizada;
- proporcionar aos operadores, com apenas a escolaridade mínima, a possibilidade de monitorarem os processos com recurso a esta solução;
- minimizar os custos de produção traduzidos em quantidade de produto em excesso e em tempos de paragem da linha, muitas vezes resultado de ajustes desnecessários;
- otimizar a gestão dos processos de enchimento de produtos pré-embalados, com a facilidade de, a qualquer momento, ser possível obter uma análise estatística do desempenho de determinada linha ou produto, num dado período de tempo;
- possibilitar que a aplicação informática preconizada evolua, em função das necessidades do mercado e dos constantes desenvolvimentos tecnológicos, emergentes à “velocidade da luz”.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Alves, J. F (2001). *COMPAL - cinquenta anos entre outras coisas*. Edições Inapa SA, Lisboa.
- [2] Antunes, S. D. (1994). *Metrologia e Qualidade*. Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.
- [3] Baetjer, Jr., H, (1998). *Software as Capital*, IEEE Computer Society Press, p. 85.
- [4] Bai, D. S. & Lee, M. K. (1993). Optimal Target Values for a Filling Process when Inspection is Based on a Correlated Variable. International Journal of Production Economics, 32, pp. 327-334.
- [5] Banerjee, P. K. & Rahim, M. A. (1988). Economic Design of \bar{x} Control Charts Under Weibull Shock Models. Technometrics, 30, pp. 407-414.
- [6] Banks, D. (1993). Is Industrial Statistics Out of Control? (with discussion), Statistical Science, 8, pp. 359-409.
- [7] Bettes, D. C. (1962). Finding an Optimum Target Value in Relation to a Fixed Lower Limit and an Arbitrary Upper Limit. Applied Statistics, 11, pp. 202-210.
- [8] Bisgaard, S., Hunter, W. G. & Pallesen, L. (1987). Economic Selection of Quality of Manufactured Product. Technometrics, 26, pp. 9-18.
- [9] Bossert, J. L. (1991). *Quality Function Deployment: A Practitioner's Approach*. ASQC Press.
- [10] Bothe, D. R. (1990). *SPC for Short Production Runs Reference Handbook*. International Quality Institute, Northville, USA.
- [11] Box, G. E. P. & Kramer, T. (1992). Statistical Process Monitoring and Feedback Adjustment. A Discussion. Technometrics, 34, pp. 251-285.
- [12] Burr, I. W. (1949). A New Method of Approving a Machine or Process Setting. *Part 1*, Industrial Quality Control, 5, pp. 12-18, *Part 2*, Industrial Quality Control, 6, pp. 13-16.
- [13] Carlsson, O. (1984). Determining the Most Profitable Process Level for a Production Process Under Different Sales Conditions. Journal of Quality Technology, 16, pp. 44-49.

-
- [14] CARTA DO CONSELHO DA EUROPA SOBRE A PROTEÇÃO DO CONSUMIDOR, Assembleia Consultiva do Conselho da Europa, Resolução nº 543 de 17 de maio de 1973
- [15] Constituição da República Portuguesa de 2 de abril de 1976 (Revista pelas Leis Constitucionais n.º 1/82, de 30 de setembro, 1/89, de 8 de julho, 1/92, de 25 de novembro e 1/97, de 20 de setembro e 1/2001, de 12 de dezembro).
- [16] Costa, A. F. B. (1994). \bar{x} Charts with Variable Sample Size. Journal of Quality Technology, 26, pp. 155-163.
- [17] Crowder, S. V, Hawkins, D. M., Reynolds, M. R., JR.; & Yashchin, E. (1997). Process Control and Statistical Inference. Journal of Quality Technology, 29, pp.134-139.
- [18] Crowder, S. V. (1987). A Simple Method for Studying Run-Length Distributions of Exponentially Weighted Moving Average Charts. Technometrics, 29.
- [19] Crowder, S. V. (1989). Design of Exponentially Weighted Moving Average Schemes. Journal of Quality Technology, 21.
- [20] Decreto-Lei 291/91 de 20 de setembro: Regulamento os termos em que é exercido o controlo metrológico dos métodos e instrumentos de medida
- [21] Decreto-Lei 310/91 de 17 de agosto: estabelece as condições a que os pré-embalados devem obedecer, designadamente quanto à uniformidade das quantidades e capacidades nominais: exige a identificação dos responsáveis pelo seu cumprimento e possibilita a posição do símbolo CEE nos produtos assim acondicionados em Portugal.
- [22] Decreto-Lei nº. 24/96 de 31 de julho de 1996- Estabelece o regime legal aplicável à defesa dos consumidores. Revoga a Lei n.º 29/81, de 22 de agosto.
- [23] Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. Center for Advanced Engineering Studies, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- [24] Diretiva 75/106/CEE- Aproximação das legislações dos estados membros respeitantes ao pré-acondicionamento em volumes de certos líquidos em pré-embalagens.
- [25] Diretiva 75/107/CEE- Aproximação das legislações dos estados membros respeitantes às garrafas utilizadas como recipiente de medida.
- [26] Diretiva 76/211/CEE- Aproximação das legislações dos estados membros respeitantes ao pré-condicionamento em massa ou volume de certos produtos em pré-embalagens.
- [27] Diretiva 80/232/CEE- Aproximação das legislações dos estados-membros respeitantes às gamas de quantidades nominais e de capacidades nominais admitidas para certos produtos em pré-embalagens
- [28] Diretiva 94/62/CE- Aproximação das legislações dos estados-membros respeitantes relativamente a embalagens e resíduos de embalagens

-
- [29] Diretiva 98/6/CE- Relativa à defesa dos consumidores em matéria de indicações dos preços dos produtos oferecidos aos consumidores
- [30] Draft Recommendation OIML R 87 adopted by OIML in November 2003, *Quantity of product in prepackages*.
- [31] Ewan, W. D. (1963). When and How to Use Cu-Sum Charts. Technometrics, Vol. 5.
- [32] Farnum, N. R. (1992). Control Charts for Short Runs: Nonconstant Process and Measurement Error. Journal of Quality Technology, 24.
- [33] Frota, A. M. M. S. P. (2000), Os Pré-embalados e o Consumidor. Seminário: Metrologia de Pré-embalados. Coimbra: IPN.
- [34] Gan, F. F. (1991). An Optimal Design of CUSUM Quality Control Charts. Journal of Quality Technology, 23.
- [35] Golhar, D. Y. & Pollock, S. M. (1988). Determination of the Optimal Process Mean and the Upper Limit for a Canning Problem. Journal of Quality Technology, 20, pp. 188-195.
- [36] Golhar, D. Y. (1987). Determining the Best Mean Contents for a Canning Problem. Journal of Quality Technology, 19, pp. 82-84.
- [37] *Hawkins, D. M. (1981). A CUSUM for a Scale Parameter. Journal of Quality Technology, 13.*
- [38] Hawkins, D. M. (1993). Cumulative Sum Control Charting: An Underutilized SPC Tool. Quality Engineering, 5.
- [39] Hotelling, H. (1947). *Multivariate Quality Control: Techniques of Statistical Analysis*. Eisenhart, Hastay, e Wallis, Eds., McGraw-Hill, New-York
- [40] Hunter, W. G. & Kartha, C. P. (1977). Determining the Most Profitable Target Value for a Production Process. Journal of Quality Technology, 19, pp. 176-181.
- [41] Jornal Oficial das Comunidades Europeias N.º 2676/90 da Comissão de 17 de setembro de 1990.
- [42] Juran, J. M. (1997). Early SQC: A Historical Supplement. Quality Progress, pp. 129-137.
- [43] Kolesar, P. J. (1993). "The Relevance of Research on Statistical Process Control to the Quality Movement". Journal of Engineering and Technology Management, 10, pp. 317-338.
- [44] Kotz, S. & Johnson, N. L. (2002). Process Capability Indices-A Review, 1992-2000. Journal of Quality Technology, 34.
- [45] Lee, M. K. & Kim, G. S. (1994). Determination of the Optimal Target Values for a Filling Process when Inspection is Based on a Correlated Variable. International Journal of Production Economics, 37, pp. 205-213.

-
- [46] Lucas, J. M. & Saccucci, M. S. (1990). Exponentially Weighted Moving Average Control Schemes: Properties and Enhancements. Technometrics, 32.
- [47] Lucas, J. M. (1976). The Design and Use of Cumulative Sum Quality Control Schemes. Journal of Quality Technology, 8.
- [48] Massart, D.L, Vanderginste, B. G. M., Deming, S. N, Michotte, Y. & Kaufman, L (1990). *Chemometrics: a textbook*, 3ª. Ed, Elsevier, New York.
- [49] Ming-Well Lu & Rudy R. J. (2002). Discussion the Article - Process Capability Indices- A Review, 1992-2000. Journal of Quality Technology, 34.
- [50] Misiorek, V. I. & Barnett, N. S. (2000). Mean Selection for Filling Processes Under Weights and Measures Requirements. Journal of Quality Technology 32, nº. 2, pp. 111-121.
- [51] Misiorek, V. I. & Barnett, N. S. (1995). Factors Affecting the choice of Target for a Process with 'Top-Up' and 'Give-Away'. Technical Report 62 EQRM 18, Department of Computer and Mathematical Sciences, Victoria University of Technology, Melbourne, Australia.
- [52] Montgomery, D.C., (1997). *Introduction to Statistical Quality Control*, 3ª ed., John Wiley & Sons, EUA.
- [53] Naur, P. & Randall, B. (1969). *Software Engineering: A Report on a Conference Sponsored by the NATO Science Committee*, NATO.
- [54] Nelson, L. S. (1978). Best Target Value for a Production Process. Journal of Quality Technology, 10, pp. 88-89.
- [55] Nelson, L. S. (1979). Nomograph for Setting Process to Minimize Scrap Cost. Journal of Quality Technology 11, pp. 48-49.
- [56] Norma Nº NIE-DIMEL026- Verificação de conteúdo efetivo de produtos pré-medidos comercializados em unidade de volume e conteúdo nominal igual
- [57] Norma NP-1232 de 1976- Determinação das águas de vidragem de produtos congelados.
- [58] Norma Portuguesa NP – 3966: 1991 – Derivados de frutos e vegetais – Determinação do peso escorrido.
- [59] Normas ISO: 2859 - Sampling procedures for inspection by attributes
- [60] OIML R 79, "Labeling requirements for prepackaged products", Ed 1997 (E).
- [61] Page, E. S. (1961). Cumulative Sum Control Charts. Technometrics, 3.
- [62] Page, E. S. (1954). Continuous Inspection Schemes. Biometrics, 41.
- [63] Park, C. & Reynolds, M. R., Jr. (1994). Economic Design of a Variable Sample Size \bar{x} Chart. Communications in Statistics – Simulation and Computation 23, pp. 467-483.

-
- [64] Parkhideh, B. & Case, K. E. (1989). The Economic Design of a Dynamic \bar{X} - Control Chart. *IIE Transactions*, 21, pp. 313-323.
- [65] Pfeifer, P. E. (1999). A General Piecewise Linear Canning Problem Model. *Journal of Quality Technology*, 31, pp. 326-337.
- [66] Portaria 1198/91 de 18 de dezembro: regulamenta o controlo metrológico dos produtos pré-embalados.
- [67] Portaria 359/94 de 7 de junho: define as condições gerais de comercialização dos produtos pré-embalados, bem como as quantidades e capacidades nominais recomendadas e obrigatórias.
- [68] Portaria INMETRO 231/00 - Metodologia para a determinação do peso drenado dos produtos pré-medidos.
- [69] Portaria INMETRO 74/95 - Verificação do conteúdo líquido de produtos com conteúdo nominal igual, comercializados por massa e volume
- [70] Portaria INMETRO 88/96 - Aprova o Regulamento Técnico Metrológico que estabelece critérios para a indicação quantitativa a ser utilizada nos produtos pré-medidos sem a presença do consumidor. Complementada pela Portaria INMETRO 02/98 (vista principal; altura da letra).
- [71] Pressman, R. S. (2002). *Engenharia de Software*, 5ª ed., McGraw-Hill, Rio de Janeiro.
- [72] Projeto de Procedimento cedido pelo IPQ – Massa Volúmica de Produtos Líquidos, Viscosos e Pastosos.
- [73] Prudêncio, R (1994). Acondicionamento de Produtos Pré-embalados. *Qualirama*, 24, pp.14-19.
- [74] PYZDEK, (2003). *The Six Sigma Handbook*, McGraw Hill, Nova York.
- [75] Reifer, D. J. (1994). Requirements Engineering. *Encyclopedia of Software Engineering* (J. J. Marciniak, ed.) Wiley, pp. 1043-1054.
- [76] Relatório da Comissão ao Parlamento e ao Conselho, “Resultados da 4ª. Fase do SLIM”, COM (2000) 56 final, Bruxelas, 4 de fevereiro de 2000.
- [77] Reynolds, M. R., Jr., Amin, R. W., Arnold, J. C. & Nachlas, J. A. (1988). \bar{X} Charts With Variable Sampling Intervals. *Technometrics*, 30, pp. 181-192.
- [78] Roberts, S. W. (1959). Control Chart Tests Based on Geometric Moving Averages. *Technometrics*, 1.
- [79] Schmidt, R. L. & Pfeifer, P. E. (1991). Economic Selection of the Mean and Upper Limit for a Canning Problem with Limited Capacity. *Journal of Quality Technology*, 23, pp. 312-317.

-
- [80] Schmidt, R. L. & Pfeifer, P. E. (1989). An Economic Evaluation of Improvements in Process Capability for a Single-Level Canning Problem. Journal of Quality Technology, 21, pp. 16-19.
- [81] Shewart, W. A. (1939). *Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control*. Graduate School of the Department of Agriculture, Washington, D. C.
- [82] Shewart, W. A. (1931). *Economic Control of Quality of Manufactured Product*. D. Van Nostrand, New York.
- [83] Springer, C. H. (1951). A Method of Determining the Most Economic Position of a Process Mean. Industrial Quality Control, 8, pp. 36-39.
- [84] Tagaras, G. (1998). A Survey of Recent Developments in the Design of Adaptive Control Charts. Journal of Quality Technology 30, n.º 3, pp. 212-231.
- [85] Taguchi, G. (1981). *On-line Statistical Quality Control During Production*. Japanese Standards Association, Tokyo, Japão.
- [86] Tillmann, G. (1993). *A Practical Guide to Logical Data Modeling*. McGraw-Hill
- [87] Ward, P. T. & Mellor, S. J. (1985). *Structured Development for Real-Time Systems*, Yourdon Press.
- [88] WELMEC Publication 6.5 (2002). *Guidance on Controls by Competent Department's*. Viena: Working Group 6.
- [89] WELMEC Publication 6.1 (1997). *Application of Directives 75/106/EEC and 76/211/EEC concerning the marking and quantity control of e-marked prepackages*. Reino Unido: Working Group 2.
- [90] Wheeler, D. J. (1991). *Short Run SPC*, S.P.C. Press, Knoxville, Tennessee, USA
- [91] Woodall, W. H. (2000). Controversies and Contradictions in Statistical Process Control. Journal of Quality Technology, 32, n.º 4, pp. 341-350.
- [92] Woodall, W. H. & Adams, B. M. (1993). The Statistical Design of CUSUM Charts. Quality Engineering, 5.
- [93] Woodall, W. H. e Montgomery, D. C. (1999). Research Issues and Ideas in Statistical Process Control. Journal of Quality Technology, 31, n.º 4, pp. 376- 386.
- [94] Zultner, R. (1992). Quality Function Deployment for Software: Satisfying Customers. American Programmer, pp. 28-41.
- [95] http://europa.eu.int/comm/agriculture/markets/wine/index_pt.htm (consultado a 28-04-2003)
- [96] <http://www.inmetro.gov.br/metlegal/docDisponiveis.asp>. (consultado a 08-05-2001)

ANEXO A- LISTA DE EMPRESAS VISITADAS

Nº.	Empresas Visitadas	Local	Área
1	Adega Cooperativa de Monção CRL	Monção	Vinhos
2	Adega Cooperativa de Vidigueira, Cuba e Alvito, CRL	Vidigueira	Vinhos
3	Adega Cooperativa de Vilarinho do Bairro, CRL	Vilarinho do Bairro	Vinhos
4	Águas Serrana	Águeda	Águas sem gás
5	Alcides Branco SA	Luso	Azeite
6	Alibar SA	Maia	Géneros alimentícios (diversos)
7	Barbosa e Almeida SA- Avintes	Avintes	Vidro de Embalagem
8	Barbosa e Almeida SA- Marinha Grande	Marinha Grande	Vidro de Embalagem
9	Central de Cervejas SA	Alverca	Cervejas e Refrigerantes
10	Colgate-Pamolive SA	Lisboa	Detergentes, produtos de higiene pessoal
11	COMPAL SA	Almeirim	Sumos e Néctares, Vegetais enlatados e Polpa de tomate
12	Confeitaria Carlos Gonçalves Lda	Barril	Doçaria industrial
13	Dan Cake SA	Coimbra	Bolachas e Bolos
14	Derovo SA	Pombal	Ovo embalado pasteurizado
15	Diverseylever SA	Sintra	Detergentes
16	Ferbar SA	Maia	Géneros alimentícios (diversos)
17	Finagra SA	Reguengos de Monsaraz	Vinhos e Azeite
18	José Maria da Fonseca SA	Azeitão	Vinhos
19	Joval Lda.	Braga	Aperitivos Congelados
20	Lactogal SA	Tocha	Leites, manteigas e sumos.
21	Milupa SA	Benavente	Alimentação para crianças
22	Novadelta SA	Campo Maior	Cafés
23	Porto Calem	V. N Gaia	Vinhos do Porto
24	Ramos Pinto SA	V. N Gaia	Vinhos do Porto
25	Roquevale SA	Redondo	Vinhos
26	Saint Gobain SA	Figueira da Foz	Vidro de Embalagem
27	Super Douradas SA	Tentúgal	Aperitivos
28	Symington SA	V. N Gaia	Vinhos do Porto
29	Tintas CIN SA	Maia	Tintas
30	Vinícola de Nelas	Nelas	Vinhos
31	Vítor Guedes SA	Abrantes	Azeite

ANEXO B- EMPRESAS QUE USAM O ACCEPT (2011)

Empresa	Setor
Adega Cooperativa de Palmela, CRL	Alimentar – Vinhos
Adega Cooperativa de Vidigueira, Cuba e Alvito, CRL	Alimentar – Vinhos
Adega Cooperativa do Redondo, CRL	Alimentar – Vinhos
Adriano Ramos Pinto, Vinhos SA	Alimentar – Vinhos
Atlantic Meals, SA	Alimentar – Arroz
AVON AUTOMOTIVE PORTUGAL, LDA	Automóvel
Beira Vicente E.E.C. Águas de Mesa, Lda	Alimentar – Águas
Carmim, CRL	Alimentar – Vinhos
Comtemp - Companhia dos Temperos, Lda	Alimentar – Temperos
Confeitaria Carlos Gonçalves, Lda	Alimentar – Bolos e Biscoitos
Empresa Lusitana de Engarrafamentos, SA	Alimentar – Enchimentos
Etanor Penha, SA	Alimentar – Águas
Fábrica de Alimentos Guadiana, Lda	Alimentar – Temperos
Falua - Sociedades de Vinhos, SA	Alimentar – Vinhos
Ferbar , Lda	Alimentar – Diversos
Finagra SA	Alimentar – Vinhos e Azeites
J Portugal Ramos-Vinhos, SA	Alimentar – Vinhos
JM da Fonseca Internacional Vinhos, SA	Alimentar – Vinhos
Jodel - Produtos Químicos, SA	Produtos de Limpeza
Lactogal, SA	Alimentar – Lacticínios
Mistolin - Produtos de Limpeza, Lda	Produtos de Limpeza
Novadelta, SA	Alimentar – Café
Prolacto - Lacticínios de S. Miguel, SA	Alimentar – Lacticínios
Pronicol – Produtos Lácteos, SA	Alimentar – Lacticínios
PROVAM- Vinhos Alvarinho de Monção Lda.	Alimentar – Vinhos
Roquevale SA	Alimentar – Vinhos
Rozès, S.A.	Alimentar – Vinhos
Sociedade Água do Luso, SA	Alimentar – Água
Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, SA	Alimentar – Cervejas, sumos e refrigerantes
Sonaz - Comércio e Indústria de Azeites, Lda	Alimentar – Azeite
Sumol+Compal, SA	Alimentar – Sumos e refrigerantes
Unicer, SA	Alimentar – Cervejas, sumos e refrigerantes

ANEXO C- CONSTANTES USADOS NA CONSTRUÇÃO DOS GRÁFICOS DA MÉDIA, DO DESVIO-PADRÃO E DA AMPLITUDE

n	Carta de controlo da Média			Carta de controlo do Desvio-padrão						Carta de controlo da Amplitude					
	Fatores dos limites de controlo			Fatores da linha central		Fatores de Limites de Controlo				Fatores da linha central		Fatores de Limites de Controlo			
	A	A2	A3	C4	1/C4	B3	B4	B5	B6	d2	1/d2	D1	D2	D3	D4
2	2,121	1,880	2,659	0,7979	1,2533	0	3,267	0	2,606	1,128	0,8865	0	3,686	0	3,267
3	1,732	1,023	1,954	0,8862	1,1284	0	2,568	0	2,276	1,693	0,5907	0	4,358	0	2,575
4	1,500	0,729	1,628	0,9213	1,0854	0	2,266	0	2,088	2,059	0,4857	0	4,698	0	2,282
5	1,342	0,577	1,427	0,9400	1,0638	0	2,089	0	1,964	2,326	0,4299	0	4,918	0	2,115
6	1,225	0,483	1,287	0,9515	1,0510	0,030	1,97	0,029	1,874	2,534	0,3946	0	5,078	0	2,004
7	1,134	0,419	1,182	0,9594	1,0423	0,118	1,882	0,113	1,806	2,704	0,3698	0,204	5,204	0,076	1,924
8	1,061	0,373	1,099	0,9650	1,0363	0,185	1,815	0,179	1,751	2,847	0,3512	0,388	5,306	0,136	1,864
9	1,000	0,337	1,032	0,9693	1,0317	0,239	1,761	0,232	1,707	2,970	0,3367	0,547	5,393	0,184	1,816
10	0,949	0,308	0,975	0,9727	1,0281	0,284	1,716	0,276	1,669	3,078	0,3249	0,687	5,469	0,223	1,777
11	0,905	0,285	0,927	0,9754	1,0252	0,321	1,679	0,313	1,637	3,173	0,3152	0,811	5,535	0,256	1,744
12	0,866	0,266	0,886	0,9776	1,0229	0,354	1,646	0,346	1,610	3,258	0,3069	0,922	5,594	0,283	1,717
13	0,832	0,249	0,850	0,9794	1,0210	0,382	1,618	0,374	1,585	3,336	0,2998	1,025	5,647	0,307	1,693
14	0,802	0,235	0,817	0,9810	1,0194	0,406	1,594	0,399	1,563	3,407	0,2935	1,118	5,696	0,328	1,672
15	0,775	0,223	0,789	0,9823	1,0180	0,428	1,572	0,421	1,544	3,472	0,2880	1,203	5,741	0,347	1,653
16	0,750	0,212	0,763	0,9835	1,0168	0,448	1,552	0,44	1,526	3,532	0,2831	1,282	5,782	0,363	1,637
17	0,728	0,203	0,739	0,9845	1,0157	0,466	1,534	0,458	1,511	3,588	0,2787	1,356	5,82	0,378	1,622
18	0,707	0,194	0,718	0,9854	1,0148	0,482	1,518	0,475	1,496	3,640	0,2747	1,424	5,856	0,391	1,608
19	0,688	0,187	0,698	0,9862	1,0140	0,497	1,503	0,49	1,483	3,689	0,2711	1,487	5,891	0,403	1,597
20	0,671	0,180	0,680	0,9869	1,0133	0,510	1,49	0,504	1,470	3,735	0,2677	1,549	5,921	0,415	1,585
21	0,655	0,173	0,663	0,9876	1,0126	0,523	1,477	0,516	1,459	3,778	0,2647	1,605	5,951	0,425	1,575
22	0,640	0,167	0,647	0,9882	1,0119	0,534	1,466	0,528	1,448	3,819	0,2618	1,659	5,979	0,434	1,566
23	0,626	0,162	0,633	0,9887	1,0114	0,545	1,455	0,539	1,438	3,858	0,2592	1,710	6,006	0,443	1,557

24	0,612	0,157	0,619	0,9892	1,0109	0,555	1,445	0,549	1,429	3,895	0,2567	1,759	6,031	0,451	1,548
25	0,600	0,153	0,606	0,9896	1,0105	0,565	1,435	0,559	1,420	3,931	0,2544	1,806	6,056	0,459	1,541

Para n (observações por amostra) maior que 25 usam-se as seguintes expressões (Montgomery, 1997).

$$A = \frac{3}{\sqrt{n}} \quad (\text{C. 1})$$

$$A_3 = \frac{3}{C_4 \sqrt{n}} \quad (\text{C. 2})$$

$$C_4 = \frac{4(n-1)}{4n-3} \quad (\text{C. 3})$$

$$B_3 = 1 - \frac{3}{C_4 \sqrt{2(n-1)}} \quad (\text{C. 4})$$

$$B_4 = 1 + \frac{3}{C_4 \sqrt{2(n-1)}} \quad (\text{C. 5})$$

$$B_5 = C_4 - \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}} \quad (\text{C. 6})$$

$$B_6 = C_4 + \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}} \quad (\text{C. 7})$$